

# CONSORZIO INDUSTRIALE PROVINCIALE ORISTANESE

## REALIZZAZIONE DELLA RETE DI DISTRIBUZIONE DEL GAS NELLE AREE DELL'AGGLOMERATO INDUSTRIALE DI ORISTANO

### PROGETTO DEFINITIVO

#### PROGETTISTI

##### CAPOGRUPPO



*Dott. Ing. Nicola Pautasso*

*Dott. Ing. Umberto Pautasso (Direttore tecnico)*

*Dott. Ing. Mauro Mannoni*

##### MANDANTI

*Dott. Geol. Alessandro Melis*

*Dott.ssa Archeol. Laura Sedda*

*Dott. Ing. Dario Maccioni*

#### ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA E DI CARATTERIZZAZIONE SISMICA

#### ALLEGATO:

**7**

Data: **SETTEMBRE 2020**

CUP:

CIG:

SCALA:

**IL PRESIDENTE**  
*(Rag. Massimiliano Daga)*

**IL DIRETTORE**  
*(Dott. Marcello Siddu)*

**IL RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO**  
*(Ing. Agostino Pruneddu)*

rev.	data	descrizione	redato	verificato	approvato
0	settembre 2020	prima emissione			

Codice Elaborato

P	A	I	N	0	1	P	D	0	1	A	0	0	7	R	0	0
Lavoro					Fase		Sub Fase		Tipo			Elaborato			Revisione	

## RELAZIONE GEOLOGICA e CARATTERIZZAZIONE SISMICA

## Sommario

1.	PREMESSA .....	3
2.	NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....	4
3.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	5
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	5
5.	INQUADRAMENTO MORFOLOGICO .....	7
6.	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	8
7.	INTERVENTO IN PROGETTO .....	9
8.	CARATTERIZZAZIONE SISMICA GENERALE .....	12
8.1.	INQUADRAMENTO SISMICO .....	12
8.2.	SISMICITA' STORICA.....	14
8.3.	CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA.....	17
8.4.	PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE.....	18
8.5.	RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	20
8.6.	MICROZONAZIONE SISMICA – EFFETTI DI SITO .....	21
8.7.	STABILITA' ALLA LIQUEFAZIONE.....	23
9.	PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I. SARDEGNA .....	27
10.	INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE .....	27
10.1.	SONDAGGI GEOGNOSTICI .....	28
10.2.	PROVE S.P.T. (Standard Penetration Test).....	29
10.3.	PRELIEVO DI CAMPIONI.....	30
10.4.	PRELIEVO DI CAMPIONI.....	30
10.5.	CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE.....	33
10.6.	PROVA SISMICA MASW .....	34
11.	DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO.....	36
12.	CONCLUSIONI .....	37

## 1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto definitivo finalizzato alla realizzazione di una rete di distribuzione del gas nelle aree dell'agglomerato industriale di Oristano, è stato eseguito uno studio geologico tecnico, finalizzato alla verifica della situazione presente in corrispondenza dell'area dove è prevista la realizzazione dell'opera.

Scopo del lavoro è stata la verifica della natura e consistenza dei terreni di fondazione in corrispondenza delle aree interessate.

Quanto sopra in ottemperanza a quanto prescritto dal nuovo Testo Unico "Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17/01/2018) e come già previsto dal D.M. LL. PP. 11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione", emanato in attuazione della Legge 02/02/1974 n. 64, art. 1, che impone per tutte le opere presenti sul territorio nazionale la realizzazione di apposite indagini di approfondimento geologico e geotecnico a supporto della progettazione, come quella cui è riferito il presente elaborato tecnico.

L'intervento in oggetto, per i cui particolari si rimanda ai relativi elaborati progettuali, è stato commissionato dal Consorzio Industriale Provinciale dell'Oristanese.

## 2. **NORMATIVA DI RIFERIMENTO**

Dal punto di vista normativo si è fatto riferimento a :

### **Decreto Ministeriale 17.01.2018**

Norme Tecniche per le Costruzioni

### **Decreto Ministeriale 14.01.2008**

Norme Tecniche per le Costruzioni

### **D.M. LL.PP. del 11/03/1988**

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

### **Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003**

Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

### **Ordinanza P.C.M. n. 3341 del 3.5.2005**

Modifiche ed integrazioni all'Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003

### **Ordinanza P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006**

Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone

### **Circolare n. 617 Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti del 2 febbraio 2009**

Istruzioni per l'Applicazione Nuove Norme Tecniche Costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14 gennaio 2008

### **P.A.I. Piano stralcio per l'assetto idrogeologico**

Regione Autonoma della Sardegna

### **Norme di attuazione del P.A.I.**

Regione Autonoma della Sardegna

### **Circolare 9 Gennaio 1996, n. 218/24/3 Ministero dei Lavori Pubblici**

Istruzioni applicative per la redazione della relazione geologica e della relazione geotecnica

### 3. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Nella Cartografia Tecnica della Sardegna(CTR) in scala 1 : 10.000, l'area è compresa nei Fogli 528110 "Foce del Tirso" e 528120 "Santa Giusta".



Area di intervento

### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in studio si inserisce nel quadro geologico Regionale della depressione tettonica della Pianura del Campidano e comprende formazioni geologiche relative all'era Terziaria e Quaternaria.

È infatti nell'era Terziaria, ed in particolare nell'intervallo di tempo compreso tra l'Oligocene ed il Miocene inferiore, che si sono verificati importanti fenomeni di subsidenza, in relazione alle manifestazioni tettoniche dovute all'orogenesi Alpina, che hanno originato la prima "fossa tettonica" sarda, allungata in direzione Nord-Sud ed estesa dal Golfo dell'Asinara al Golfo di Cagliari

Questi movimenti tettonici iniziati nell'Oligocene sono stati accompagnati da una intensa attività vulcanica, rappresentata per lo più da lave andesitiche e da tufi e piroclastiti.

In seguito ai fenomeni di subsidenza, tra la fine dell'Oligocene e l'inizio del Miocene, si sono verificate le prime ingressioni marine.

Durante tutto il Miocene il mare occupa la "Fossa Sarda" dando luogo prima a sottili depositi costieri di arenarie e conglomerati seguiti da notevoli spessori, talora di centinaia di metri, di marne argillose nelle

quali si trovano spesso intercalate le piroclastiti e le tufiti provenienti dall'attività vulcanica ancora in atto.

Nella sedimentazione miocenica non mancano anche le formazioni calcaree.

Alla fine del Miocene il mare si ritira mentre durante il Pliocene si verifica un nuovo ciclo subsidente responsabile della formazione della "Fossa del Campidano".

Durante questa fase all'interno del Campidano si verifica un ulteriore accumulo di sedimenti, mentre ai suoi bordi più settentrionali si sviluppano altri cicli di attività vulcanica con l'emissione di lave trachitiche, dacitiche, riolitiche ed andesitiche prima (complesso vulcanico del M.te Arci) e lave basaltiche, in grossi espandimenti e colate, successivamente.

Questa attività vulcanica che ha inizio dal Pliocene medio si è protratta presumibilmente sino al Pleistocene.

Tra le manifestazioni di maggior rilievo c'è sicuramente il massiccio del M.te Arci che, costituito prevalentemente da lave riolitiche, rappresenta quella più importante dal punto di vista strutturale.

Nell'era Quaternaria si hanno formazioni continentali relative ai depositi di pendio ed ai depositi alluvionali di fondovalle dei corsi d'acqua.

In queste formazioni si possono distinguere le alluvioni antiche terrazzate costituite da ghiaie e ciottoli di rocce cristalline (graniti, gneiss, lave, ecc.) in matrice sabbiosa e/o sabbioso-limosa di colore bruno rossastro di età pleistocenica e depositi più recenti corrispondenti ai depositi attuali di fondovalle che sono costituiti da sedimenti alluvionali incoerenti per lo più sabbioso-limosi di età olocenica.

I depositi alluvionali antichi e recenti occupano tutta l'area subpianeggiante, mentre i depositi di pendio si trovano sui versanti dei rilievi più elevati dove si estendono con una fascia stretta ed allungata parallelamente ai versanti.

In definitiva si tratta del grande cono di deiezione del Tirso che caratterizza la piana costiera del Campidano di Oristano interamente costituita da depositi fluviali e di piana alluvionale del Fiume Tirso, impostatisi nel corso di più cicli durante il Quaternario.

L'ampia conoide si sviluppa in varie Unità deposizionali, impostate a quote differenti e terrazzate, quale espressione morfologica di processi deposizionali ed erosivi indotti dalle variazioni eustatiche del livello marino e dei fattori paleoclimatici.

Il carattere geologico della piana alluvionale, dominata da sedimenti detritici Plio Pleistocenici a granulometria variabile, è rappresentato dalla poligenicità della natura mineralogico-petrografica della frazione clastica ad elevato grado di elaborazione.

Nei sedimenti predominano i clasti di quarzo di origine metamorfica e di elementi granitoidi e subordinatamente clasti di natura vulcanica costituiti da ignimbriti e basalti.

## 5. INQUADRAMENTO MORFOLOGICO

La morfologia dell'area è subpianeggiante, con quote sul livello del mare generalmente comprese tra 10-20 metri.

Le forme del rilievo terrestre sono fortemente condizionate dalla natura litologica delle formazioni affioranti, dalla loro età, e dai processi climatici che si sono susseguiti e nei quali si è manifestata l'azione erosiva prodotta dagli agenti esogeni, determinando così le condizioni che hanno modellato le rocce e che hanno dato origine a quei processi geomorfologici che caratterizzano il territorio.

Le caratteristiche morfologiche dell'area, rappresentate dalle planimetrie allegate, e ricavate da osservazioni di campagna hanno evidenziato l'assenza di ulteriori forme di particolare interesse.

Nell'area in esame risulta rilevante anche l'intervento morfologico attuato dall'uomo, che si è esplicato principalmente con interventi di bonifica idraulica ma è tangibile anche dalla presenza di numerose cave.

La zona interessata dalle opere ricade tra l'ampia distesa subpianeggiante del Campidano e la fascia più bassa delle conoidi di deiezione. Questo settore, dove affiorano i depositi più recenti, è caratterizzato da terreni subpianeggianti che risalgono gradualmente verso Est.

L'azione degli agenti morfogenetici in tutta quest'area è limitata a scarsi fenomeni di ruscellamento diffuso delle acque superficiali.

L'azione dovuta alla dinamica fluviale è nulla in quanto i corsi d'acqua sono incanalati.

Ampie conoidi di deiezione, presenti alla base dei rilievi, raccordano la morfologia piatta della pianura del Campidano con l'apparato vulcanico del M.te Arci. Le conoidi, dalla caratteristica forma a ventaglio, sono costituite da accumuli detritici che testimoniano processi erosivi non più in atto, che hanno interessato i rilievi vulcanici.

In queste aree si rilevano principalmente dei fenomeni di ruscellamento diffuso, dovuti all'azione delle acque meteoriche che raggiungono i compluvi e gli alvei dei corsi d'acqua senza incidere il terreno dei versanti.



## 6. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Nell'area di pianura il sistema idrografico è fortemente influenzato dagli interventi di bonifica idraulica avvenuti nel corso degli anni, in particolare la bonifica integrale di Terralba, iniziata nel 1921 ad opera della Società di Bonifiche Sarde. In quella occasione venne effettuato il prosciugamento dello Stagno di Sassu, come pure di parecchi altri stagni ed acquitrini, venne effettuata la deviazione del Rio Mogoro e venne costituito un sistema di 191 km di canali di irrigazione.

Il sistema idrografico è costituito principalmente da canali artificiali, in generale con direttrice N-S, e da corsi d'acqua i cui alvei sono stati incanalati o comunque deviati e/o rettificati.

Importante è il Canale Acque alte che scorre con direttrice N-S, in alcuni tratti il suo tracciato segue un percorso quasi meandriforme.

Per l'area di interesse, le caratteristiche idrogeologiche sono state definite in base alle caratteristiche litologiche e di permeabilità.

I terreni presenti in affioramento risultano permeabili per porosità, con permeabilità modesta trattandosi di terreni di copertura, a medio-elevata componente argillosa.

Tuttavia relativamente al complesso alluvionale si rilevano notevoli variazioni della permeabilità, sia in senso verticale che in senso orizzontale.

Non si rilevano nell'area, manifestazioni sorgentizie degne di nota.

## 7. INTERVENTO IN PROGETTO

Il progetto in esame è finalizzato a dotare l'Agglomerato Industriale di Oristano, che rappresenta la principale area attrezzata in cui è localizzato il maggior numero delle imprese in Provincia di Oristano, di una efficiente rete di distribuzione di gas naturale a servizio delle imprese insediate.

L'intervento consiste, in estrema sintesi, nella posa di condotte interrate in PES5 SDR11 PE100 di diametro variabile compreso tra DE90 e DE200, per uno sviluppo complessivo di circa 18.300 m, complete delle necessarie opere d'arte lungo linea.

La condotta sarà posata ad una quota di scavo variabile in funzione del diametro tra 110 e 120 cm.

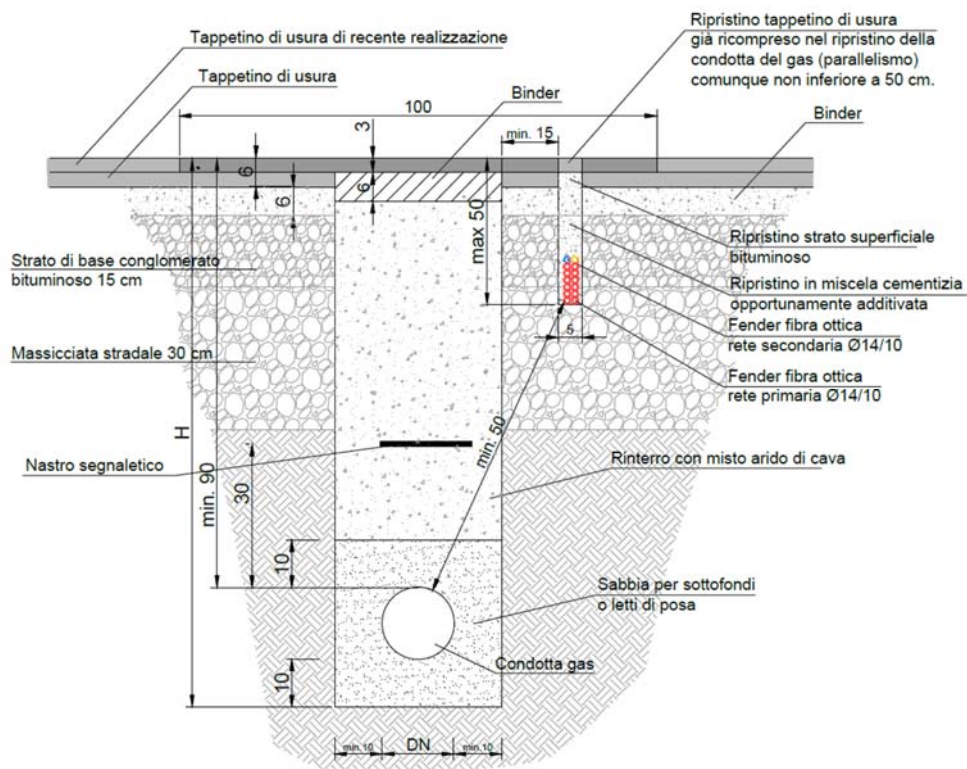
In uscita dal costruendo terminal di GNL di Higas è prevista la realizzazione della cabina di misura e di riduzione (Re.Mi.) in area prospiciente il terminal di proprietà del Consorzio che rappresenta il punto di immissione del gas in rete. La cabina consiste in un manufatto prefabbricato dalle seguenti caratteristiche tecniche:

N°1 prefabbricato di contenimento di dimensioni esterne 9.000 x 2.500 x 2.950 mm, peso complessivo circa 357 q.li; pareti dello spessore di cm. 15, pavimento incorporato alle pareti, tetto imbullonato e inghisato alle pareti; manufatto realizzato in C.A.V. reticolare con copertura di tipo leggero. Sigillatura delle connessioni con sigillante edilizio. Modalità di installazione: per la particolare caratteristica del manufatto e sufficiente, per la sua collocazione, predisporre una platea in magrone o ghiaione costipato.

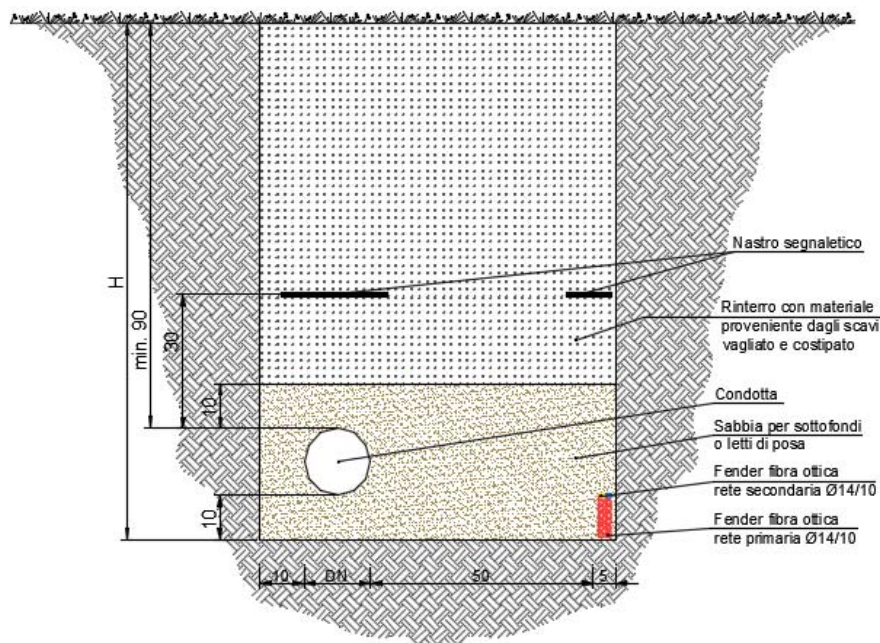
In ordine alla posa delle condotte sono previste due sezioni di scavo, una tradizionale per la posa della condotta gas ed una con minitrincea.

La sezione di scavo per la posa della condotta avrà larghezza costante pari a 40 cm. La minitrincea per la posa del Fender della fibra ottica avrà larghezza pari a 5 cm.

Si riporta a seguire la descrizione della sezione corrente su strada asfaltata (scavo con maggiore ricorrenza/incidenza) in cui la condotta gas viene posata con scavo tradizionale affiancato dalla minitrincea per la posa del Fender. Lo stesso tipo di posa si realizza su strade in cls.



È prevista la posa della condotta gas su un letto di sabbia di spessore non inferiore a 10 cm e rinfianco e primo ricoprimento della condotta realizzati con il medesimo materiale e con spessori non inferiori a 10 cm. Successivamente è prevista la scarifica per la posa del tappetino d'usura di 3 cm di larghezza pari a 1 m. Il riempimento dello scavo della minitrincea, a posa cavidotto conclusa, sarà eseguito con bauletto di calcestruzzo opportunamente additivato e colorato per evidenziare la presenza dell'impianto. La sezione di scavo su terreno naturale per la posa della condotta e del Fender della fibra ottica avrà larghezza variabile da 75 a 90 cm a seconda del diametro posato.



È prevista la posa della condotta gas su un letto di sabbia di spessore non inferiore a 10 cm e rinfianco e primo ricoprimento della condotta realizzati con il medesimo materiale e con spessori non inferiori a 10 cm. Il Fender è anch'esso posato sulla sabbia ad una distanza non inferiore a 50 cm dalla condotta gas. Sopra il materiale sabbioso è previsto il rinterro con materiale di risulta proveniente dagli scavi. Verranno inoltre realizzati **n. 5 attraversamenti fluviali** di corso d'acqua, n.3 dei quali con tecnologia microtunnelling. I particolari costruttivi di questi attraversamenti sono riportati nelle tavole:

- *Attraversamento fluviale n.3 - Attraversamento di canale di Pesaria 2 e S.P. 97 con microtunnelling - S.P. 97, Km 2+418 - Km 2+569",*
- *Attraversamento fluviale n.4 - Attraversamento di canale di Pesaria 1 con microtunnelling - S.P. 97, Km 1+898 - Km 2+007",*
- *Attraversamento fluviale n.5 - Attraversamento di canale S. Giovanni con microtunnelling - S.P. 97, Km 1+575 - Km 1+685".*

N.1 attraversamento verrà realizzato con posa in subalveo: Attraversamento fluviale n.1 - Attraversamento con posa in subalveo - via Tavolara",

Infine, il rimanente attraversamento (Attraversamento fluviale n.2 - Attraversamento con posa aerea del canale di collegamento stagno di S.Giusta – Porto industriale") verrà realizzato con posa aerea, sfruttando una culla esistente con alloggiamento già predisposto.

Verranno, inoltre realizzati, **n.6 attraversamenti ferroviari** con tecnologia microtunnelling :

- *Attraversamento ferroviario n.1 - Attraversamento di doppia ferrovia con microtunnelling - via Marongiu",*
- *Attraversamento ferroviario n.2 - Attraversamento con microtunnelling - via Marongiu",*
- *Attraversamento ferroviario n.3 - Attraversamento con microtunnelling - S.P. 97, Km 2+165 - 2+304",*
- *Attraversamento ferroviario n.4 - Attraversamento con microtunnelling al Km 0+683",*
- *Attraversamento ferroviario n.5 - Attraversamento con microtunnelling - via Bruxelles",*
- *Attraversamento ferroviario n.6 - Attraversamento con microtunnelling - via Bonn".*

**L'unico attraversamento di Strada Provinciale (S.P. 97)**, avverrà nel contesto dell'attraversamento fluviale n. 2, con tecnologia microtunnelling.

## 8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA GENERALE

### 8.1. INQUADRAMENTO SISMICO

Per la definizione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, è necessario conoscere la "pericolosità sismica di base del sito di costruzione.

Il rischio sismico è definibile come l'incrocio tra dati di pericolosità (definizione delle strutture sismogenetiche e capacità di caratterizzazione dell'eccitazione sismica ad esse associata), di vulnerabilità (capacità degli oggetti esposti di resistere alle sollecitazioni) e di esposizione (presenza sul territorio di manufatti a rischio).

Il sistema della classificazione sismica (e le mappe da esso previste) è finalizzato a fornire un livello di riferimento convenzionale delle forze sismiche rispetto al quale i manufatti vanno progettati per poter rispondere alle sollecitazioni senza collassare.

Detti criteri sono stati stabiliti dall'allegato al recente D.M. 17 gennaio 2018 "NORME TECNICHE PER LE COSTRUZIONI" come già nella versione (NTC 2008) e dell'O.P.C.M. 3274/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" nella quale venivano individuate 4 zone sulla base dei 4 valori di accelerazioni orizzontali (ag/g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico indicati nelle Norme Tecniche (allegati 2, 3,4 ).

Secondo la normativa sismica indicata nel D.M. 14.01.2018 si deve far riferimento alle locazioni delle opere riferite ai vertici sismici del reticolo nazionale.

La sismicità della Regione Sardegna risulta molto bassa, sia i dati storici che quelli strumentali non evidenziano criticità nella pericolosità sismica di base, pertanto, nelle NTC 2008 (cfr. Allegato B, Tabella 2) si

ritiene ragionevole assumere per l'intera isola un valore uniforme di accelerazione orizzontale massima al bedrock ( $a_g$ ), come riportato in Tabella :

Isola	$T_R = 30$			$T_R = 50$			$T_R = 72$		
	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$
<b>Sardegna</b>	0,186	2,61	0,273	0,235	2,67	0,269	0,274	2,7	0,303
Isola	$T_R = 101$			$T_R = 140$			$T_R = 201$		
	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$
<b>Sardegna</b>	0,314	2,73	0,307	0,351	2,78	0,313	0,393	2,82	0,322
Isola	$T_R = 475$			$T_R = 975$			$T_R = 2475$		
	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$	$a_g$	$F_o$	$T_C^*$
<b>Sardegna</b>	0,5	2,88	0,34	0,603	2,98	0,372	0,747	3,09	0,401

Nella tabella viene indicata la pericolosità sismica sui suoli rigidi tramite i parametri di  $a_g$ ,  $F_o$ ,  $T_C^*$  per vari tempi di ritorno ( $T_R$ ).

$a_g$  = accelerazione massima orizzontale del sito;

$F_o$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_C^*$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formulazione degli elenchi delle medesime zone" all'allegato 1.A sono individuate quattro zone sismiche con accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di tipo A, di ancoraggio dello spettro di risposta elastico.

L'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 classifica l'intero territorio nazionale dal punto di vista sismico, attribuendo all'area studiata la zona 4.

A tale zona corrisponde un'accelerazione orizzontale con probabilità di superamento del 10% in 50 anni inferiore a 0,05 ( $a_g/g$ ). Questo si traduce in un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a 0,05 ( $a_g/g$ ) riferita a suoli molto rigidi.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a <sub>g</sub> /g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a <sub>g</sub> /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

## 8.2. SISMICITA' STORICA

La caratterizzazione della sismicità di un territorio richiede, in primo luogo, una approfondita e dettagliata valutazione della storia sismica, definita attraverso l'analisi di evidenze storiche e dati strumentali riportati nei cataloghi ufficiali.

La sismicità storica dell'area interessata dall'opera in progetto è stata analizzata consultando i cataloghi più aggiornati, considerando un intervallo temporale che va dal mondo antico all'epoca attuale.

In particolare, sono stati consultati i seguenti database:

Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 (CPTI15), redatto dal Gruppo di lavoro CPTI 2015 dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta dati parametrici omogenei, sia macrosismici che strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  o con magnitudo ( $M_w$ )  $\geq 4.0$  d'interesse relativi al territorio italiano.

Data Base Macrosismico Italiano 2015 (DBMI15), realizzato dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questo catalogo riporta un set omogeneo di dati di intensità macrosismiche provenienti da diverse fonti e relativo ai terremoti con intensità massima ( $I_{max}$ )  $\geq 5$  avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologica coperta dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15 va dall'anno 1000 d.C. circa a tutto il 2014 d.C., ed offre per ogni terremoto una stima il più possibile omogenea della localizzazione epicentrale (Latitudine, Longitudine), dei valori di Intensità massima ed epicentrale, della magnitudo momento e della magnitudo calcolata dalle onde superficiali.

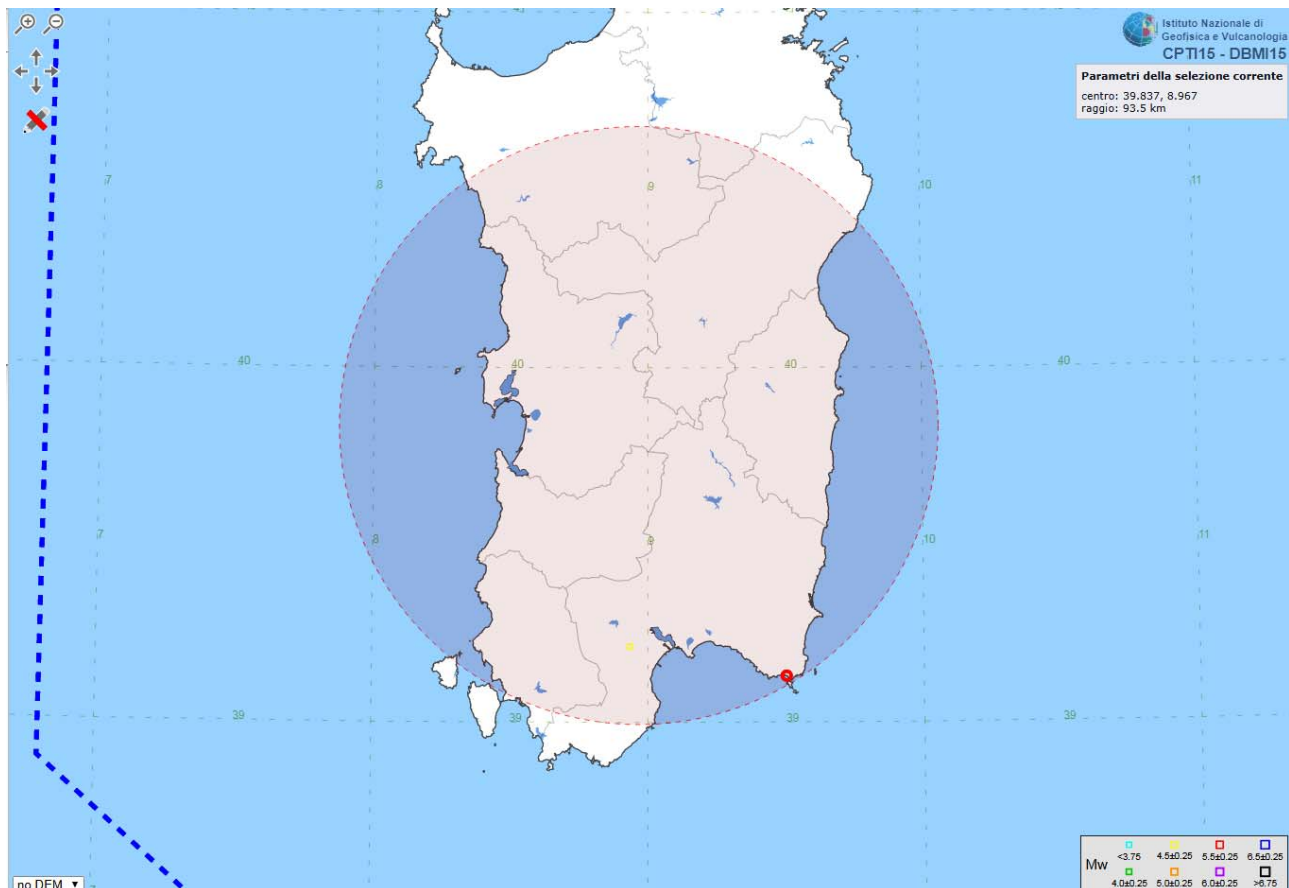
Per la compilazione del CPTI15 sono stati ritenuti di interesse solo i terremoti avvenuti in Italia e quelli che, pur essendo stati localizzati in aree limitrofe, potrebbero essere stati risentiti con intensità significativa all'interno dei confini dello stato.

In Figura è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna, mentre in Tabella è riportata una lista di tutti gli eventi sismici catalogati.

In generale, dalla consultazione di questo catalogo si evidenzia che l'area interessata dal progetto presenta

una sismicità storica molto bassa. Il catalogo CPTI15 riporta solo due eventi di magnitudo  $\leq 5Mw$  (1924 e 1948). In occasione dell'evento del 1948 sono state osservate intensità pari a 6MCS in alcune località della Sardegna Nord-Occidentale.

I terremoti più recenti (avvenuti nel 2000, 2004 e 2006), tutti di  $Mw < 5$  e localizzati in mare, hanno prodotto in terraferma effetti di modesta intensità.



Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti in Sardegna (fonte: catalogo CPTI15, redatti da INGV)

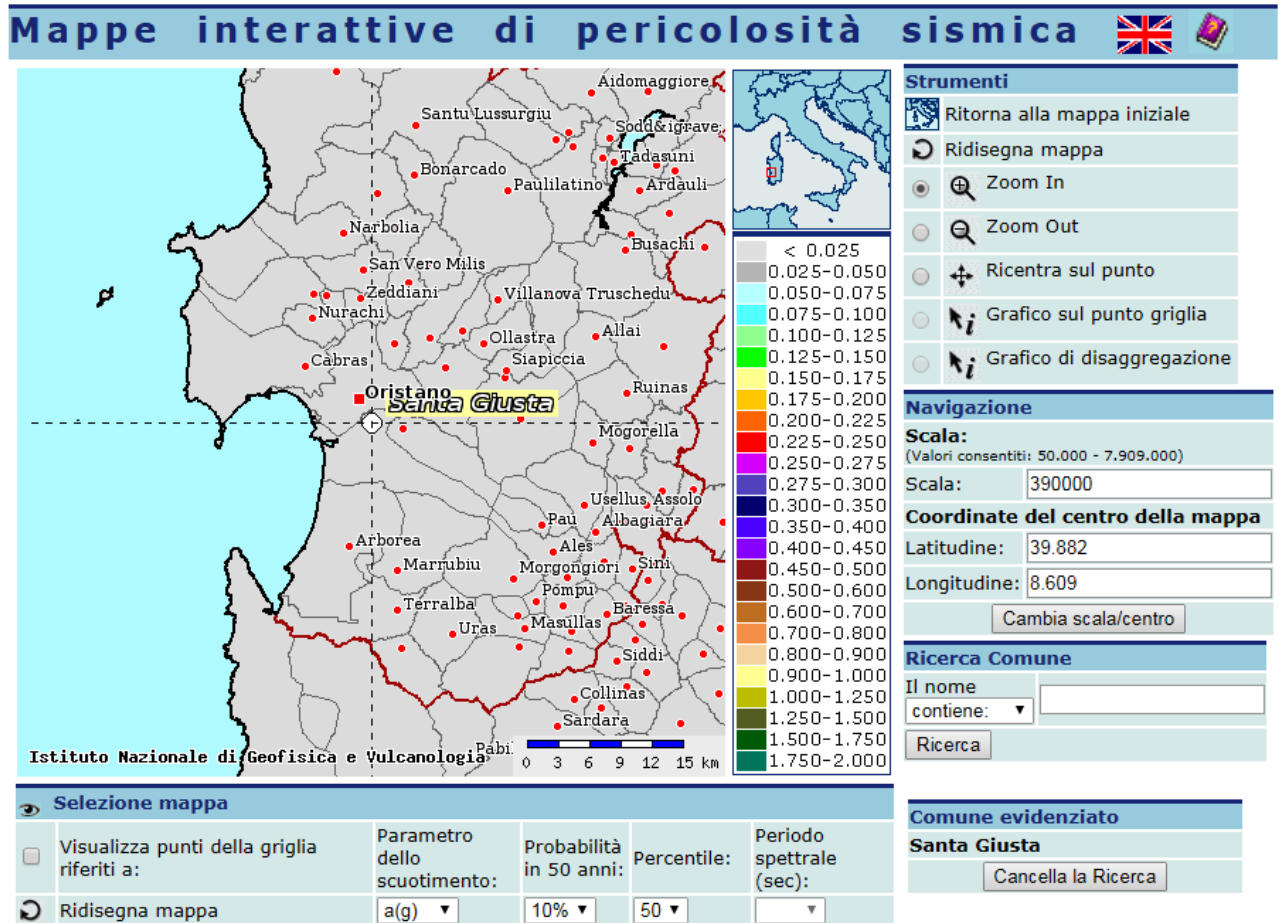
► homepage ► **consultazione per terremoto (CPTI15)** ► consultazione per località (DBMI15)

Terremoti in elenco: 2 (filtrati).

Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
1616	06	04				Sardegna meridionale	10	6-7	4.91
1771	08	17	18			Sardegna meridionale	7	5	4.43

Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna

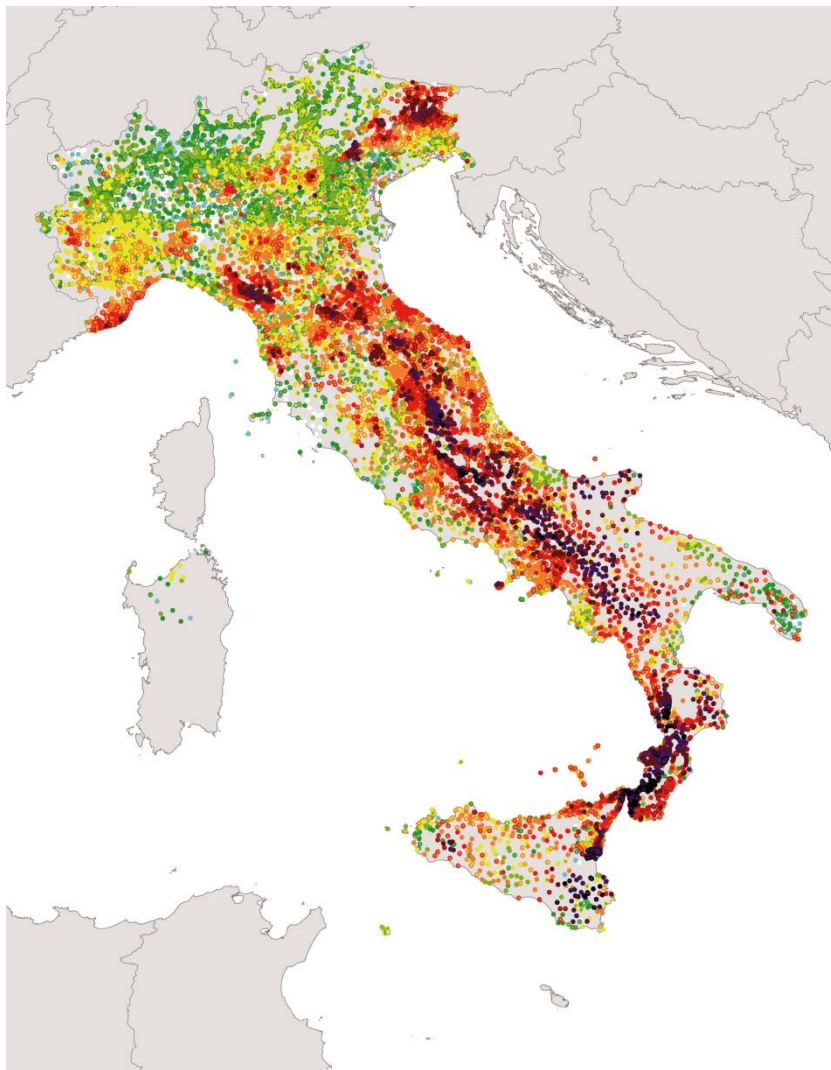




Mappa interattiva pericolosità sismica (INGV)

Il database DBMI15 archivia gli eventi sismici considerando i dati di intensità macrosismica. L'insieme di questi dati consente di elaborare la sismicità storica delle località italiane, ossia consente di definire un elenco degli effetti di avvertimento o di danno, espressi in termini di gradi di intensità, osservati nel corso del tempo a causa di eventi sismici.

In Figura è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse sono presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo.

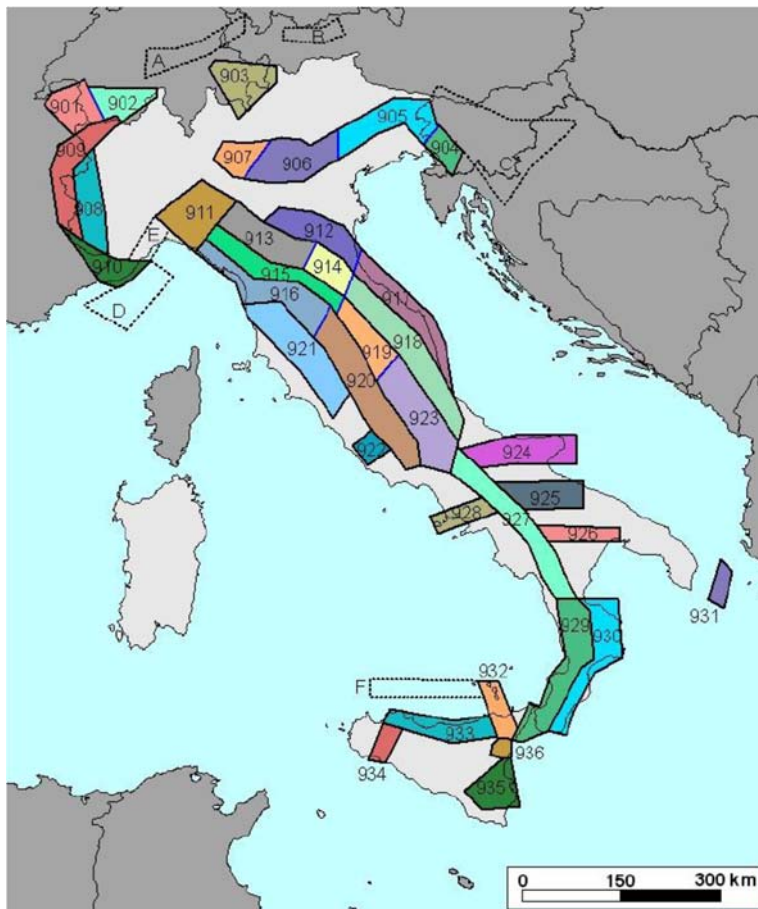


Localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15 (fonte: INGV)

La distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 e dal database DBMI15, dimostra che la zona in studio è caratterizzata da un livello di sismicità molto basso, sia dal punto di vista della frequenza di eventi, che dei valori di magnitudo.

### 8.3. CARATTERIZZAZIONE SISMOGENETICA

La caratterizzazione sismogenetica dell'area in studio è stata elaborata considerando la recente Zonazione Sismogenetica, denominata ZS9, prodotta dall' INGV (Meletti C. e Valensise G., 2004). Questa zonazione è considerata, nella recente letteratura scientifica, il lavoro più completo e aggiornato a livello nazionale. Dall'analisi dei risultati riportati nella ZS9 si può evidenziare che il settore studiato non è caratterizzato da nessuna area sorgente di particolare rilievo.



Mappa della Zonizzazione Sismogenetica ZS9 dell'Italia (INGV 2004)

Studi più recenti per la valutazione della pericolosità sismica nazionale (Stucchi et al., 2007) hanno prodotto risultati in accordo a quelli evidenziati dalla ZS9 in merito alla difficoltà di individuare per il territorio sardo una mappa delle sorgenti sismogenetiche a causa della bassa sismicità che caratterizza la regione.

#### 8.4. PERICOLOSITA' SISMICA DI BASE

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC) introducono il concetto di pericolosità sismica di base in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti.

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di riferimento e per diversi intervalli di riferimento (periodo di ritorno).

Il reticolo di riferimento delle NTC suddivide l'intero territorio italiano in maglie elementari di circa 10 Km

per 10 Km, per un totale di 10751 nodi, definiti in termini di coordinate geografiche.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno ( $T_r$ ) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

$a_g$  = accelerazione massima orizzontale del sito;

$F_0$  = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T^*C$  = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi del reticolo di riferimento.

Le accelerazioni orizzontali massime attese al bedrock ( $a_g$ ) non sono più valutate genericamente sulla base dell'appartenenza del comune in cui realizzare l'opera ad una zona sismica, ma sono calcolate in funzione dell'effettiva posizione geografica del sito ove sarà realizzata l'opera.

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno ( $T_r$ ) considerati dalla pericolosità sismica, i tre parametri si ricavano riferendosi ai valori corrispondenti al 50-esimo percentile.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto ( $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$ ) possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

La "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo ("Periodo di riferimento" VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Questa probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento"  $P_{vr}$ .

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido, con superficie topografica orizzontale e, in un sito generico, deve essere descritta sia in termini geografici che in termini temporali fornendo i risultati dello studio di pericolosità:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC (nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopra definite).
- in corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente

vicini fra loro (non distano più di 10 km).

- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno TR.

Ai fini delle N.T.C. gli stati limite (SL) per i quali l'opera viene progettata sono definiti, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento Pvr, a partire dai parametri su sito di riferimento rigido orizzontale: ag, F0 e T\*C.

Nelle NTC la stima della pericolosità sismica è basata su una griglia di 10751 punti ove viene fornita la terna di valori ag, Fo e T\*C per nove distinti periodi.

Per la determinazione di tali parametri occorre partire dai seguenti dati di base:

- Categoria di sottosuolo: da definirsi in base alla quota del piano di fondazione delle opere in progetto.
- Classe d'Uso della Costruzione: dovrà essere definita dai progettisti in base alla destinazione d'uso degli edifici.
- Categoria Topografica: T1 (versante con pendenza < 15°)
- Vita nominale (VN): in base al tipo di costruzione

#### 8.5. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare anche l'effetto della risposta sismica locale che in assenza di specifiche analisi, può essere ricavata mediante un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

L'identificazione di questa categoria va di norma veniva eseguita in base ai valori della cioè la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

A partire dal 22 marzo 2018 con l'ingresso delle NTC 2018 viene anche introdotta la VS equivalente (Vseq) inserita nelle NTC 2018 e definita dalla seguente relazione:

$$V_{s,eq} = H / \sum_{i=1,N} (h_i/V_{s,i})$$

con

- hi = spessore dello stato i-esimo
- Vs,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/sec (bedrock sismico).

Si tratta in pratica di una variazione sul tema rispetto al parametro Vs30 (in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m). Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VSeq è definita dal parametro VS30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. 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. Viene eliminata la possibilità di ricavare la categoria di sottosuolo mediante NSPT30 o Cu30.

#### 8.6. MICROZONAZIONE SISMICA – EFFETTI DI SITO

Le Norme tecniche per le costruzioni di cui al DM 17 gennaio 2018, sono state emesse ai sensi delle leggi 5 novembre 1971, n. 1086, e 2 febbraio 1974, n. 64, così come riunite nel Testo Unico per l'Edilizia di cui al DPR 6 giugno 2001, n. 380, e dell'art. 5 del DL 28 maggio 2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall'art. 1 della legge 27 luglio 2004, n. 186 e ss. mm. ii..

Detta normativa prevede anche la definizione delle categorie di sottosuolo secondo la seguente tabella:

CATEGORIA	DESCRIZIONE
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 fine 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 e 360 m/s.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine 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 Co D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

NTC 2018 tabella 3.2.II Categorie di sottosuolo

La normativa sismica vigente evidenzia, per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il

fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_{sh}$  all'interno delle coperture.

I valori dei parametri che definiscono la forma dello spettro di risposta al sito dovrebbero derivare da accurate indagini di risposta sismica locale: in mancanza di tali studi nelle Norme tecniche per le costruzioni si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) categorie di suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità  $V_{s30}$  (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

In particolare il suolo di fondazione, come da indagini sismiche eseguite, ricade nella Categoria D (cfr. indagini geognostiche).

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico  $S_T$  riportati nelle seguenti tabelle in funzione delle categorie morfologiche e dell'ubicazione dell'intervento :

Per quanto riguarda l'amplificazione topografica, secondo la più recente revisione delle Norme Tecniche in vigore, per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione seguente.

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 $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Categoria Topografica	Ubicazione dell'opera e dell'intervento	$S_T$
T1		1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a $30^\circ$	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di $30^\circ$	1,4

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella tabella sottostante, in funzione delle categorie topografiche definite nella Tab. 3.2.III delle NTC 2017 e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Per il caso in esame si adotta il coefficiente di amplificazione topografica  $ST=1.0$ , tenendo conto della posizione dell'area.

## 8.7. STABILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi sabbiosi saturi e dipendono principalmente da: proprietà geotecniche dei terreni, caratteristiche delle vibrazioni sismiche e loro durata, genesi e storia geologica dei terreni.

Nel caso specifico la magnitudo stimata, con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, risulta inferiore a 5. Le accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) sono inferiori di 0,1 g.

Stante la natura dei terreni di fondazione, il loro addensamento e i valori di soggiacenza della falda freatica, si ritiene che rispetto alle magnitudo attese i fenomeni di liquefazione siano da escludere.

Tuttavia allo scopo di accertare la stabilità nei confronti della liquefazione, per il sito in esame sono state effettuate delle verifiche che hanno consentito di determinare il potenziale di liquefazione, parametro indicativo dell'estensione che il fenomeno può avere nei terreni.

La liquefazione è infatti un fenomeno per cui durante un sisma la rigidità e la resistenza del terreno possono ridursi significativamente. Ad essa sono associati la perdita di resistenza al taglio o l'accumulo di deformazioni plastiche che avvengono in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, a causa delle azioni cicliche e dinamiche che si verificano in condizioni non drenate. Tali fenomeni sono legati allo sviluppo di sovrappressioni interstiziali che, se positiva, causano una diminuzione della tensione media efficace nel terreno e una riduzione della resistenza al taglio. Questa riduzione può essere una condizione temporanea o può indurre una condizione di collasso definitiva.

Il fenomeno della liquefazione è profondamente influenzato dal numero dei cicli N del terremoto, dalla densità relativa  $D_r$  e dalla granulometria del terreno. Un terreno incoerente a parità di altri fattori risulta maggiormente esposto al pericolo della liquefazione quanto minore è la sua densità relativa. Il potenziale di liquefazione aumenta poi al crescere di N (cicli di terremoto).



In questo contesto il problema principale che si pone in fase di progettazione è la suscettibilità alla liquefazione quando la falda freatica si trova in prossimità della superficie ed il terreno di fondazione comprende strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, anche se contenenti una frazione fine limoso argillosa.

Per il sito in esame sulla base di quanto riportato in precedenza:

l'evento sismico atteso è di magnitudo  $M$  pari a 5

le accelerazioni massime attese al piano campagna sono pari a 0.05

Sono state condotte diverse verifiche a diverse profondità sulla possibilità di liquefazione dei terreni in argomento (pur non essendo francamente sabbiosi) sulla base del numero di colpi corretto NSPT, il peso specifico, la profondità della falda, nonché, le caratteristiche granulometriche e la magnitudo.

Sono stati impiegati diversi metodi proposti da Seed e Idris (1982), da Seed e Idris modificato da Tokimatsu & Yoshimi (1983) e semplificato da GNDT CNR e da Youd e Idris (2001) ed in tutte le verifiche svolte i risultati ottenuti circa il fattore di sicurezza  $F_s$  (ottenuto dal rapporto  $R/T$  Resistenza al taglio mobilitata/Sforzo di taglio indotto dal sisma) è risultato maggiore di 1.3.

Si escludono pertanto possibili problematiche di liquefazione per le opere in progetto.

Nelle tabelle di seguito riportate si riepilogano le verifiche effettuate.

<b>VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE</b>				
(da prove dinamiche SPT)				
<b>Metodo semplificato</b>				
Metodo di Seed e Idris (1982)				
<b>PARAMETRI:</b>				
$\gamma$	=	1,8	g/cm <sup>3</sup>	
$\sigma_{vo}$	=	0,09	kg/cm <sup>2</sup>	
$\sigma_{vo}'$	=	0,04	kg/cm <sup>2</sup>	
profondità della prova	=	50	cm	
$N_{SPT}$	=	5		
profondità falda	=	2	cm	
$\gamma_{H_2O}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>	
Pressione neutra	=	0,048	kg/cm <sup>2</sup>	
$z$	=	0,5	m	
				R= Resistenza al taglio mobilizzata
				T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
				$d_{50}$ = Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%
<b>FORMULE</b>			<b>RISULTATI:</b>	
<b>Na</b>	=	$(N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo} + 0,7))) + N_f$	=	11,45552561
				<b>Na</b>
<b>N<sub>f</sub></b>	=	0		
<b>R</b>	=	$Na / 90$	=	0,127283618
				<b>R</b>
<b>T</b>	=	$0,65 * (a_{max} / g) * (\sigma_{vo} / \sigma_{vo}') * r_d$	=	0,069120536
				<b>T</b>
$a_{max} / g$	=	0,05		
$r_d$	=	0,9925		
<b>1,3</b>	≤	<b>Fs = R/T</b> Sabbie sature	=	1,841473254
				<b>Verificato Fs</b>

Verifica N.1

<b>VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE</b>				
(da prove dinamiche SPT)				
<b>Metodo semplificato</b>				
Metodo di Seed e Idris (1982)				
<b>PARAMETRI:</b>				
$\gamma$	=	1,8	g/cm <sup>3</sup>	
$\sigma_{vo}$	=	0,18	kg/cm <sup>2</sup>	
$\sigma_{vo}'$	=	0,08	kg/cm <sup>2</sup>	
profondità della prova	=	100	cm	
$N_{SPT}$	=	5		
profondità falda	=	2	cm	
$\gamma_{H_2O}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>	
Pressione neutra	=	0,098	kg/cm <sup>2</sup>	
$z$	=	1	m	
				R= Resistenza al taglio mobilizzata
				T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
				$d_{50}$ = Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%
<b>FORMULE</b>			<b>RISULTATI:</b>	
<b>Na</b>	=	$(N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo}' + 0,7))) + N_f$	=	<b>10,86956522</b> <b>Na</b>
<b>N<sub>f</sub></b>	=	0		
<b>R</b>	=	$Na / 90$	=	<b>0,120772947</b> <b>R</b>
<b>T</b>	=	$0,65 * (a_{max} / g) * (\sigma_{vo}' / \sigma_{vo}') * r_d$	=	<b>0,070271341</b> <b>T</b>
$a_{max} / g$	=	0,05		
$r_d$	=	0,985		
<b>1,3</b>	≤	<b>Fs=R/T</b> Sabbie sature	=	<b>1,718665737</b> <b>Verificato Fs</b>

Verifica N.2

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE				
(da prove dinamiche SPT)				
Metodo semplificato				
Metodo di Seed e Idris (1982)				
<b>PARAMETRI:</b>				
$\gamma$	=	1,8	g/cm <sup>3</sup>	
$\sigma_{vo}$	=	0,36	kg/cm <sup>2</sup>	
$\sigma_{vo}'$	=	0,16	kg/cm <sup>2</sup>	
profondità della prova	=	200	cm	
$N_{SPT}$	=	5		
profondità falda	=	2	cm	
$\gamma_{H_2O}$	=	1	g/cm <sup>3</sup>	
Pressione neutra	=	0,198	kg/cm <sup>2</sup>	
z	=	2	m	
				R= Resistenza al taglio mobilizzata
				T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
				$d_{50}$ = Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%
<b>FORMULE</b>			<b>RISULTATI:</b>	
<b>Na</b>	=	$(N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo} + 0,7))) + N_f$	=	<b>9,860788863</b> <b>Na</b>
<b>N<sub>f</sub></b>	=	0		
<b>R</b>	=	$Na / 90$	=	<b>0,109564321</b> <b>R</b>
<b>T</b>	=	$0,65 * ((a_{max} / g) * (\sigma_{vo}' / \sigma_{vo})) * r_d$	=	<b>0,070055556</b> <b>T</b>
$a_{max} / g$	=	0,05		
$r_d$	=	0,97		
<b>1,3</b>	≤	<b>F<sub>s</sub> = R/T</b> Sabbie sature	=	<b>1,563963341</b> <b>Verificato F<sub>s</sub></b>

Verifica N.3

### 9. PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO P.A.I. SARDEGNA

Nell'ambito della perimetrazione P.A.I., l'area in argomento non risulta insistere in aree a pericolosità e rischio idraulico e/o geomorfologico.

Il sito ricade nel Sub-Bacino n. 2 "Tirso" del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) della Regione Sardegna.

### 10. INDAGINI GEOGNOSTICHE E CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Al fine di caratterizzare al meglio i terreni sede di intervento, e di fornire un modello geologico del

sottosuolo quanto più realistico possibile, come prevedono le NTC, si è ritenuto opportuno prevedere un attento programma.

Nel mese di Agosto 2020 è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in situ ed in laboratorio a cura della Servizi Geotecnici di Cagliari.

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n.3 sondaggi geognostici a rotazione con carotaggio continuo, prove penetrometriche in foro di sondaggio del tipo S.P.T. (Standard Penetration Test), n.27 Pozzetti geognostici e n.1 Prova sismica del tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Ai fini della caratterizzazione ambientale sono stati eseguiti N.27 saggi (escavatore meccanico) disposti secondo l'ubicazione riportata in planimetria.

Durante l'esecuzione dei saggi sono stati prelevati N.54 (N.2 per saggio) campioni significativi di terreno per la caratterizzazione ambientale delle TRS Terre e Rocce da scavo.

La caratterizzazione ambientale, nel rispetto della normativa vigente, è stata svolta per accertare la sussistenza dei requisiti di qualità ambientale delle terre e rocce da scavo ed è inserita nella progettazione dell'opera.

Gli stessi scavi sono stati di supporto per la caratterizzazione geognostica di dettaglio al fine di valutare la reale natura e consistenza del terreno principalmente indirizzata nei confronti della scavabilità, tenuta degli scavi, possibilità di riutilizzo ed eventuale presenza d'acqua.

Per la caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni sono state eseguite delle determinazioni specialistiche di laboratorio di seguito riportate (su campioni prelevati nel corso dei sondaggi e dei saggi per la caratterizzazione ambientale) :

- N.13 campionamento per le determinazioni fisico meccaniche dei terreni (campioni rimaneggiati)
- N.13 analisi granulometriche, determinazione dei limiti di Atterberg e Classificazione CNR UNI
- N.13 determinazioni delle caratteristiche fisiche del campione, contenuto naturale d'acqua, peso di volume naturale, peso specifico dei grani
- N.3 prove di taglio diretto
- N.1 prova sismica tipo MASW

L'ubicazione delle indagini è riportata nella planimetria specifica.

#### 10.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Sono stati eseguiti N.3 sondaggi geognostici a rotazione con carotaggio continuo del diam.101 mm realizzati sino alle seguenti profondità dal p.c.:

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)
S1	10.0
S2	10.0
S3	10.0

I metri lineari di carotaggio risultano complessivamente pari a 30 m.

L'approvvigionamento dell'acqua necessaria per la perforazione è stato effettuato con l'ausilio di idonea attrezzatura.

La perforazione e l'infissione del rivestimento provvisorio, quando necessario, sono stati condotti in modo da minimizzare la variazione di stato dei terreni attraversati. A questo scopo sono stati costantemente tenuti sotto controllo i valori della velocità e pressione del fluido (acqua) usati nell'infissione dei rivestimenti e nell'attraversamento di livelli particolarmente addensati.

La stabilità del fondo foro è stata ottenuta impiegando velocità molto basse durante la manovra di estrazione del carotiere, in particolar modo nella prima parte del recupero.

A seconda della natura dei terreni sono stati impiegati il carotiere di tipo semplice o doppio. Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici, munite di scomparti divisori e di coperchio apribile.

Sui bordi e all'interno di dette cassette sono indicate le quote dei recuperi e tutti gli elementi utili per il riconoscimento delle quote dei campionamenti.

Le cassette catalogatrici, infine, sono state fotografate complete di tutte le indicazioni utili al loro riconoscimento.

Le stratigrafie e la documentazione fotografica riassumono tutte le informazioni circa le variazioni litologiche e le quote di campionamento.

## 10.2. PROVE S.P.T. (Standard Penetration Test)

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite N.6 prove penetrometriche del tipo Standard Penetration Test, al fine di ricavare le caratteristiche geotecniche del terreno.

La prova consiste nel far penetrare nel terreno un campionatore standardizzato (campionatore a pareti grosse Raymond) sotto i colpi di un maglio con peso di 63,5 kg e da un'altezza di 76 cm. Il maglio, battendo a caduta libera sulle aste standard che prolungano il campionatore, infigge l'attrezzo nel terreno. Le misure vengono effettuate per tre avanzamenti consecutivi di 15 cm ciascuno, contando il numero di colpi necessari (Nspt) per ogni avanzamento. La resistenza alla penetrazione del terreno è caratterizzata dalla

somma del numero di colpi per il secondo e terzo avanzamento, cioè  $N_{spt}=N_2+N_3$ .

Le prove sono state eseguite al fondo del foro di sondaggio (possibilmente alterando il meno possibile il terreno), scavato in precedenza alla profondità desiderata.

La prova è considerata a rifiuto se il numero di colpi del primo avanzamento ( $N_1$ ) è maggiore di 50 prima dei 15 cm o se  $N_2+N_3$  è maggiore di 100 colpi prima dei 30 cm di avanzamento.

Nella seguente tabella si riepilogano i risultati ottenuti:

Sondaggio	Profondità m dal p.c.	N1	N2	N3	Nspt
S1	2,00	1	1	1	2
	6,00	2	2	1	3
S2	2,50	15	18	27	45
	7,00	1	1	1	2
S1	2,45	3	2	3	5
	8,00	3	2	2	4

### 10.3. PRELIEVO DI CAMPIONI

Con l'ausilio di un escavatore meccanico sono stati realizzati N.27 saggi geognostici disposti secondo l'ubicazione riportata nella allegata planimetria.

I saggi eseguiti hanno avuto la duplice valenza di fornire indicazioni per la caratterizzazione fisico meccanica dei terreni e di caratterizzazione ambientale.

La caratterizzazione ambientale è stata svolta per accertare la sussistenza dei requisiti di qualità ambientale delle terre e rocce da scavo.

Come detto gli stessi scavi sono stati di supporto per la caratterizzazione geognostica di dettaglio al fine di valutare la reale natura e consistenza del terreno principalmente indirizzata nei confronti della scavabilità, tenuta degli scavi e eventuale presenza d'acqua.

### 10.4. PRELIEVO DI CAMPIONI

Durante il corso dei sondaggi e compatibilmente con la natura dei terreni sono stati prelevati N.3 campioni indisturbati di terreno per le successive determinazioni di laboratorio.

Sondaggio	Sigla Campione	Prof. Prelievo m da p.c.
S1	S1C1	3,4 ÷ 4,0
S2	S2C1	4,4 ÷ 5,0

S3	S3C1	2,2 ÷ 2,9
----	------	-----------

Nel corso dei pozzetti geognostici sono stati inoltre prelevati N.13 campioni rimaneggiati così distribuiti:

Pozzetto	Prof. Prelievo m da p.c.
1	1.3
3	1.0
5	1.5
8	0.9
9	1.6
10	1.1
14	1.4
16	1.0
17	1.3
19	1.2
21	1.0
23	1.5
26	1.2

Per la caratterizzazione fisico meccanica dei terreni sono state eseguite le determinazioni di laboratorio riepilogate nel seguente quadro riepilogativo, mentre nell'allegato specifico si riportano i report dove vengono riassunte tutte le determinazioni di dettaglio.



		POZZETTI GEOGNOSTICI													SONDAGGI A CAROTAGGIO		
		1	3	5	8	9	10	14	16	17	19	21	23	26	S1	S2	S3
															SIC1	S2C2	S3C3
		Quota prelievo m dal p.c.															
<b>DETERMINAZIONE</b>		1,3	1,0	1,5	0,9	1,6	1,1	1,4	1,0	1,3	1,2	1,0	1,5	1,2	3,4-4,0	4,4-5,0	2,2-2,9
CONTENUTO NATURALE D'ACQUA	(%)	4,9	5,2	5,1	4,7	5,5	4,5	5,2	6,3	4,9	3,2	3,9	4,1	4,0	35,6	25,6	27,4
PESO DI VOLUME NATURALE	g/cm <sup>3</sup>	1,85	1,87	1,86	1,85	1,73	1,68	1,98	2,05	2,06	1,82	1,82	1,85	1,83	1,60	1,79	1,81
PESO SPECIFICO DEI GRANI	g/cm <sup>3</sup>	2,57	2,63	2,55	2,61	2,58	2,59	2,56	2,61	2,58	2,55	2,60	2,58	2,62	2,58	2,61	2,59
LIMITE DI LIQUIDITA'	(%)	28	29	27	26	28	23	23	27	25	24	26	25	19	55	52	49
LIMITE DI PLASTICITA'	(%)	16	14	15	15	16	16	16	18	16	16	16	16	n.d.	26	27	24
INDICE DI PLASTICITA'	(%)	12	15	12	11	12	7	7	9	9	8	10	9	n.d.	29	25	25
INDICE DI GRUPPO		0	3	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	15	14	14
CLASSIFICAZIONE CNR UNI		A2-6	A6	A6	A2-6	A2-6	A2-4	A2-4	A2-4	A2-4	A2-4	A2-4	A2-4	A2-4	A7-6	A7-6	A7-6
CLASSIFICAZIONE AGI	Ghiaia (%)	24,8	21,2	16,8	34,0	25,4	38,9	39,0	59,6	55,2	4,8	7,9	5,4	3	0	0	27,4
	Sabbia (%)	46,8	40,0	42,9	41,0	52,8	43,6	47,0	25,8	28,0	82,9	70,6	73,7	89,5	32,5	25,5	1,81
	Limo e argilla (%)	28,4	38,9	40,3	25,0	21,8	17,6	14,0	14,6	16,8	12,4	21,5	20,9	7,5	67,5	74,5	2,59
PROVA DI TAGLIO DIRETTO	$\phi'$	(°)													19,0	19,6	19,0
	c'	(kPa)													8,1	28,0	28,4

### 10.5. CARATTERIZZAZIONE AMBIENTALE

Durante il corso dei saggi geognostici (pozzetti geognostici eseguiti con escavatore meccanico) sono stati prelevati dei campioni di terre medio composti da sottoporre a prove di laboratorio chimico ambientale.

Nella seguente tabella si riporta l'elenco dei campioni ambientali e le relative prove eseguite:

Nella seguente tabella si riepilogano le profondità raggiunte dai saggi:

Pozzetto	Profondità (m dal p.c.)	Sigla	Quota prelievo [m dal p.c.]
Pz1	2.3	Pz1A	0.3
		Pz1B	1.0
Pz2	2.3	Pz2A	0.3
		Pz2B	1.0
Pz3	2.3	Pz3A	0.3
		Pz3B	1.0
Pz4	2.3	Pz4A	0.3
		Pz4B	1.0
Pz5	2.3	Pz5A	0.3
		Pz5B	1.0
Pz6	2.3	Pz6A	0.3
		Pz6B	1.0
Pz7	2.3	Pz7A	0.3
		Pz7B	1.0
Pz8	2.3	Pz8A	0.3
		Pz8B	1.0
Pz9	2.3	Pz9A	0.3
		Pz9B	1.0
Pz10	2.3	Pz10A	0.3
		Pz10B	1.0
Pz11	2.3	Pz11A	0.3
		Pz11B	1.0
Pz12	2.3	Pz12A	0.3
		Pz12B	1.0
Pz13	2.3	Pz13A	0.3
		Pz13B	1.0
Pz14	2.3	Pz14A	0.3
		Pz14B	1.0

Pozzetto	Profondità (m dal p.c.)	Sigla	Quota prelievo [m dal p.c.]
Pz15	2.3	Pz15A	0.3
		Pz15B	1.0
Pz16	2.3	Pz16A	0.3
		Pz16B	1.0
Pz17	2.3	Pz17A	0.3
		Pz17B	1.0
Pz18	2.3	Pz18A	0.3
		Pz18B	1.0
Pz19	2.3	Pz19A	0.3
		Pz19B	1.0
Pz20	2.3	Pz20A	0.3
		Pz20B	1.0
Pz21	2.3	Pz21A	0.3
		Pz21B	1.0
Pz22	2.3	Pz22A	0.3
		Pz22B	1.0
Pz23	2.3	Pz23A	0.3
		Pz23B	1.0
Pz24	2.3	Pz24A	0.3
		Pz24B	1.0
Pz25	2.3	Pz25A	0.3
		Pz25B	1.0
Pz26	2.3	Pz26A	0.3
		Pz26B	1.0
Pz27	2.3	Pz27A	0.3
		Pz27B	1.0

Nelle certificazioni allegate si riportano i dettagli dei risultati ottenuti.

#### 10.6. PROVA SISMICA MASW

Il metodo MASW è classificabile come tecnica di indagine sismica simile alla sismica a rifrazione e alla sismica a riflessione, perché il principio alla base della prova sperimentale in sito è analogo e consiste nel misurare le onde superficiali sul suolo. La Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW) è un metodo d'indagine mediante il quale è possibile costruire un profilo di velocità delle onde di taglio (Vs) in relazione

alla profondità, sulla base della misura delle onde superficiali. Il contributo predominante di quest'ultime che viaggiano ad una velocità correlata alla rigidità del terreno interessato dalla propagazione. Nei terreni stratificati, le onde di Rayleigh sono dispersive e si propagano con diverse velocità di fase e di gruppo. La natura dispersiva è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza (lunghezza d'onda corta) si propagano negli strati superficiali, mentre onde a bassa frequenza si propagano in strati profondi. La ricerca del profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  co profilo di velocità  $V_s$  finché non sia raggiunto un buon accordo tra la curva di dispersione (o velocità di fase) apparente, misurata in sito, e la curva di dispersione (o velocità di fase) apparente simulata numericamente.

Nell'area dove è previsto il posizionamento del manufatto prefabbricato è stata eseguita un'indagine geofisica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), che ha fornito i seguenti risultati :

Vs,eq [m/sec] (H=30.00 m)	<b>160.79</b>
Categoria del suolo	<b>D</b>

**Suolo di tipo 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 180m/s.

## 11. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOLOGICO

La legislazione di riferimento è costituita dalle NTC 2018 – Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni (D.M. 17.01.18) che, nell'ambito del Cap. 6 "Progettazione geotecnica", al punto 6.2.1 "Caratterizzazione e modellazione geologica del sito" recita: Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio, attraverso la descrizione delle peculiarità genetiche dei diversi terreni presenti, delle dinamiche dei diversi termini litologici, dei rapporti di giustapposizione reciproca, delle vicende tettoniche subite e dell'azione dei diversi agenti morfogenetici. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento. In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito devono essere esaurientemente esposte e commentate in una relazione geologica, che è parte integrante del progetto. Tale relazione comprende, sulla base di specifici rilievi ed indagini, la identificazione delle formazioni presenti nel sito, lo studio dei tipi litologici, della struttura del sottosuolo e dei caratteri fisici degli ammassi, definisce il modello geologico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici, nonché i conseguenti livelli delle pericolosità geologiche.

Sulla base dei dati relativi alla campagna di indagini geologiche e geotecniche a supporto della progettazione definitiva è stato possibile ricostruire il modello geologico geotecnico di riferimento.

L'ubicazione definitiva delle indagini eseguite è stata scelta in modo da avere un quadro esaustivo di tutta l'area in progetto.

Il modello geologico del sito è stato ottenuto attraverso le rilevanze emerse dal rilevamento di terreno, l'interpretazione della cartografia geologica attualmente in vigore e la campagna di indagini in situ ed in laboratorio. Nell'area interessata dal progetto affiorano depositi ascrivibili alla copertura Quaternaria Plio Pleistocenica e Attuale parzialmente obliterata da terreni di riporto. Le informazioni ottenute hanno permesso una caratterizzazione geologico-geotecnica di dettaglio dei terreni interferenti con le opere in progetto e la definizione delle geometrie dei corpi deposizionali.

L'interpretazione e l'elaborazione dei dati acquisiti permettono di individuare il seguente modello geologico

di sintesi del sito :

**Livello 1** (0.0 – 0.2 m) Terreno vegetale

**Livello 2** (0.2 – 2.5 m) Sabbia limosa a tratti ghiaiosa generalmente bene addensata e progressivamente e cementata con l'aumentare della profondità

**Livello 3** (2.5 – 10.0 m) Argilla limosa e limo argilloso a tratti sabbiosi di colore generalmente grigiastro debolmente coesivi

Trattandosi di aree intensamente urbanizzate potranno rinvenirsi livelli di materiale di riporto eterogenei

## 12. CONCLUSIONI

Dall'analisi dei dati geologici, geomorfologici, idrogeologici e geotecnici, il progetto risulta sostanzialmente fattibile sotto il profilo geologico, compatibile con le Norme di Attuazione del PAI e non pregiudizievole dell'assetto locale.

E' stata eseguita una campagna di indagini geognostiche in situ ed in laboratorio.

Non si rilevano, allo stato attuale, controindicazioni specifiche in merito agli aspetti geologici in generale ed altrettanto in rapporto alla stratigrafia, all'assetto strutturale, alla geomorfologia e all'idrogeologia.

Trattandosi di zona pianeggiante non si evidenziano eventi franosi in evoluzione e fenomeni di instabilità, come pure non esiste una copertura pedologica che possa essere compromessa dalla realizzazione dell'intervento.

Geologicamente il sito in studio si presenta sicuro e privo di alcun fenomeno di instabilità in atto, o potenzialmente derivabile dalla realizzazione dell'intervento in progetto.

Non sono presenti affioramenti di interesse geologico tale da poter essere inquadrati nella categoria "monumenti geologici" e come tali da sottoporre a salvaguardia.

Il progetto in esame non evidenzia allo stato attuale controindicazioni specifiche in merito agli aspetti geologici in generale ed altrettanto in rapporto alla stratigrafia, all'assetto strutturale e alla geomorfologia.

Dal punto di vista idrogeologico, allo stato attuale, non si rilevano interferenze degne di nota ed il tipo di intervento previsto non interessa falde acquifere profonde.

La modesta profondità degli scavi per la posa della tubazione consentirà lavorazioni prevalentemente in asciutto. Unicamente in prossimità degli attraversamenti fluviali potranno verificarsi delle interferenze legate alla superficialità dello specchio idrico in stretta connessione con il livello idrometrico dei canali.

Si ha pertanto ragione di ritenere che i terreni presenti offrano buone caratteristiche geotecniche e possano garantire un buon appoggio dei manufatti in progetto.

Sulla base di quanto sopra specificato, si ritiene che le opere previste dal Progetto sono fattibili sotto il profilo geologico, geotecnico e idrogeologico.

Le risultanze della campagna di indagini geognostiche in situ ed in laboratorio hanno consentito di definire il modello geologico di riferimento.

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, viste le caratteristiche del primo sottosuolo, il suolo di fondazione può essere assimilato alla categoria D di azione sismica.

In ordine alla scavabilità dei terreni in argomento si ritiene che per il 100% circa si possano prevedere scavi in depositi alluvionali e detritici (terreni di riporto artificiale quando presenti) che comportano una buona "rippability" cioè una buona propensione ad essere scavati con mezzi meccanici semplici (escavatore meccanico).

La tenuta delle pareti degli scavi sarà buona ed anche in considerazione delle modeste profondità, non saranno da prevedere strutture di sostegno a meno di particolari ed impreviste situazioni.

In ordine al riutilizzo dei materiali scavati, questi ultimi potranno essere impiegati per il 50 %.

Per quanto esposto, fatte salve le necessarie verifiche in fase di realizzazione dell'opera, ai sensi delle Normative vigenti, si ritiene l'area idonea alla realizzazione dell'intervento previsto secondo quanto definito nella presente relazione.

Cagliari, Settembre 2020