



COMUNE DI OLLASTRA

PROVINCIA DI ORISTANO

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA DELLA S.S. 388 MEDIANTE UNA ROTATORIA NEL LATO NORD DEL CENTRO ABITATO DI OLLASTRA (OR)”

Studio Geologico tecnico Geologo Alessandro Piga



I Tecnici

Geol. Alessandro Piga

Geol. Roberto Lovico

*Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del
D.Lgs 82/2005 s.m.i. e norme collegate, il quale sostituisce il
documento cartaceo e la firma autografa.*

Villacidro, luglio 2024

SOMMARIO

1	GENERALITÀ	3
1.1	PREMESSA	3
1.2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	4
1.3	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	8
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO	9
2.1	ASSETTO GEOLOGICO E TETTONICO GENERALE	9
2.2	CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGIA DEL SITO	13
2.3	INQUADRAMENTO IDROGRAFICO E IDROGEOLOGICO	16
2.4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	17
2.5	ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO LOCALE	19
3	MODELLO GEOTECNICO	21
3.1	PROGRAMMA DELLE INDAGINI	21
3.2	CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA QUALITATIVA DEI TERRENI	21
3.3	RISULTATI DELLE INDAGINI E CARATTERIZZAZIONE LITOTECNICA QUANTITATIVA	23
3.4	VALUTAZIONE DEI CEDIMENTI	24
3.5	PARAMETRIZZAZIONE SISMICA	24
4	ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA E GEOLOGICA	28
4.1	PERICOLOSITÀ IDRAULICA	28
4.2	PERICOLOSITÀ DA FRANA	28
4.3	PERICOLOSITÀ SISMICA	28
5	IN SINTESI	29

1 GENERALITÀ

1.1 Premessa

La seguente relazione è stata richiesta dall'Amministrazione comunale di Ollastra come parte integrante del “progetto di “MIGLIORAMENTO DELLE CONDIZIONI DI SICUREZZA DELLA S.S. 388 MEDIANTE UNA ROTATORIA NEL LATO NORD DEL CENTRO ABITATO DI OLLASTRA (OR)”, agli scriventi Dott. Geol. Alessandro Piga ⁽¹⁾ e Dott. Geol. Roberto Lovico ⁽²⁾.

Come da oggetto, l'intervento prevede la realizzazione di una nuova rotonda (Fig. 1).

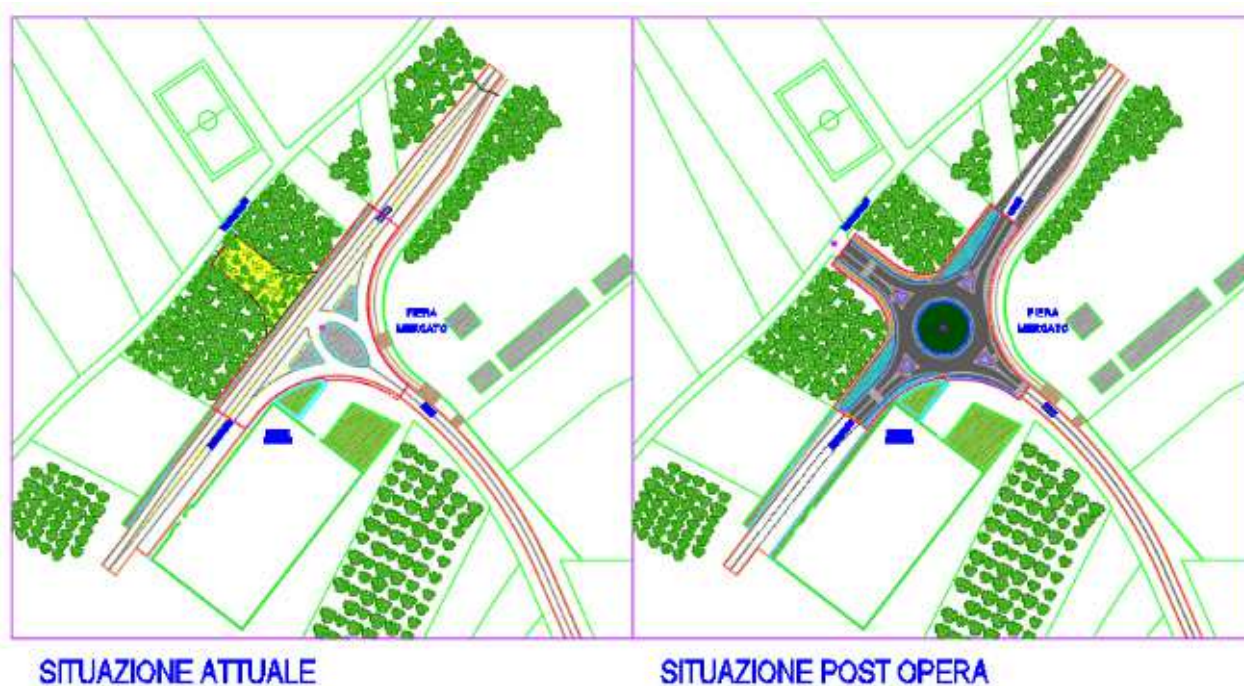


Fig. 1 - Vista in pianta delle opere in progetto.

⁽¹⁾ Albo Geologi della Regione Sardegna N. 570 – Sezione A.

⁽²⁾ Albo Geologi della Regione Sardegna N. 820 – Sezione A.

1.2 Inquadramento territoriale

Il sito in argomento ricade nel settore centro occidentale dell'Isola, nel territorio comunale di Ollastra (Provincia di Oristano). Il sito è raggiungibile percorrendo la SS 388 in direzione sud-ovest sino all'incrocio con la SP87; l'area in esame è localizzata in prossimità del cimitero comunale, e si trova a circa 380 m di distanza dal centro abitato.

I riferimenti cartografici sono rappresentati da:

- Foglio 529 "SAMUGHEO" dell'I.G.M.I. [scala 1:50.000]
- Sezione 529-IV "SOLARUSSA" dell'I.G.M.I. [scala 1:25.000]
- Sezione 529-010 "OLLAISTRA" della C.T.R. [scala 1:10.000]

Le coordinate che individuano il baricentro del sito sono:

39° 57' 20.53" N - 8° 44' 13.62" E

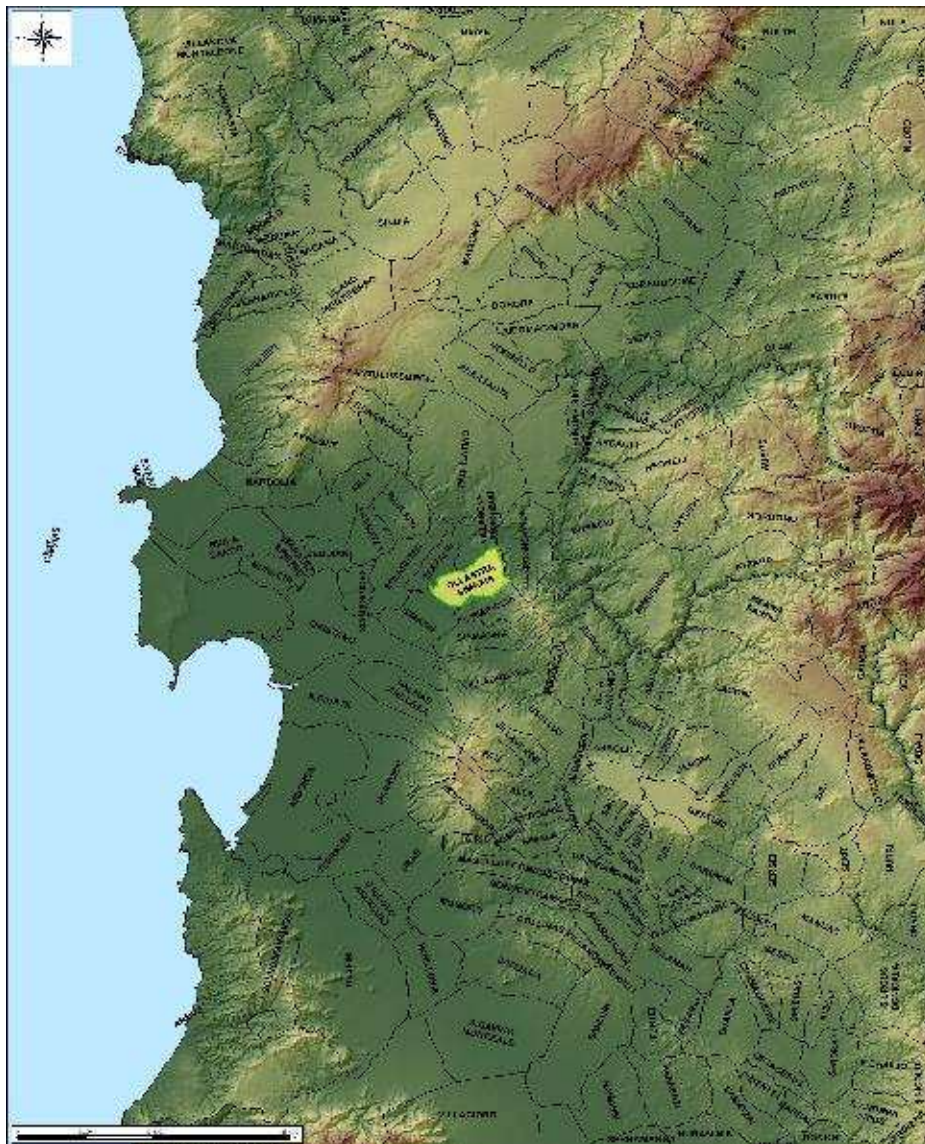


Fig. 2- Inquadramento geografico del Comune di Ollastra in scala 1: 500.000.

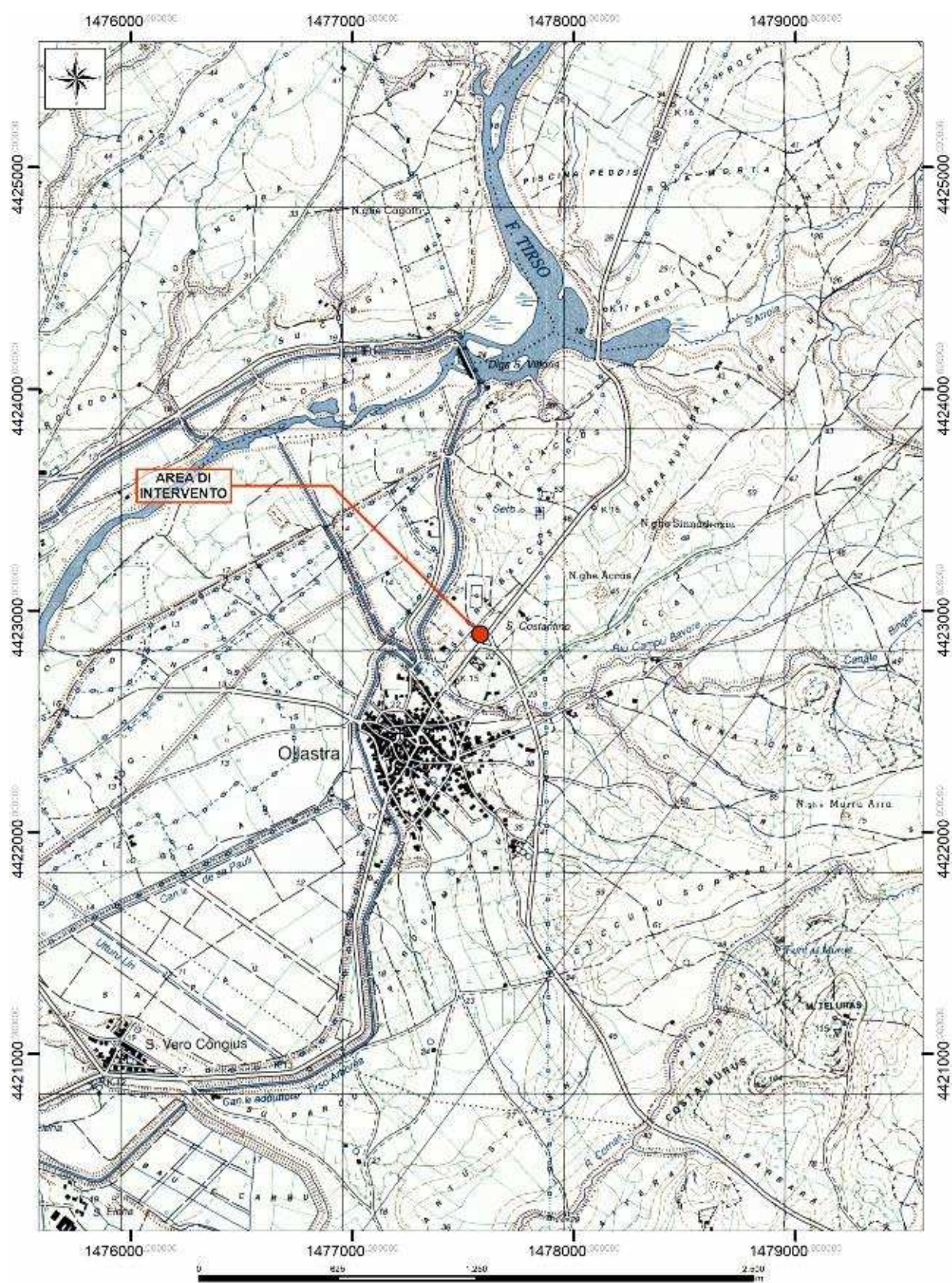


Fig. 3 - Ubicazione dell'area di intervento su cartografia I.G.M.I. in scala 1: 25.000.

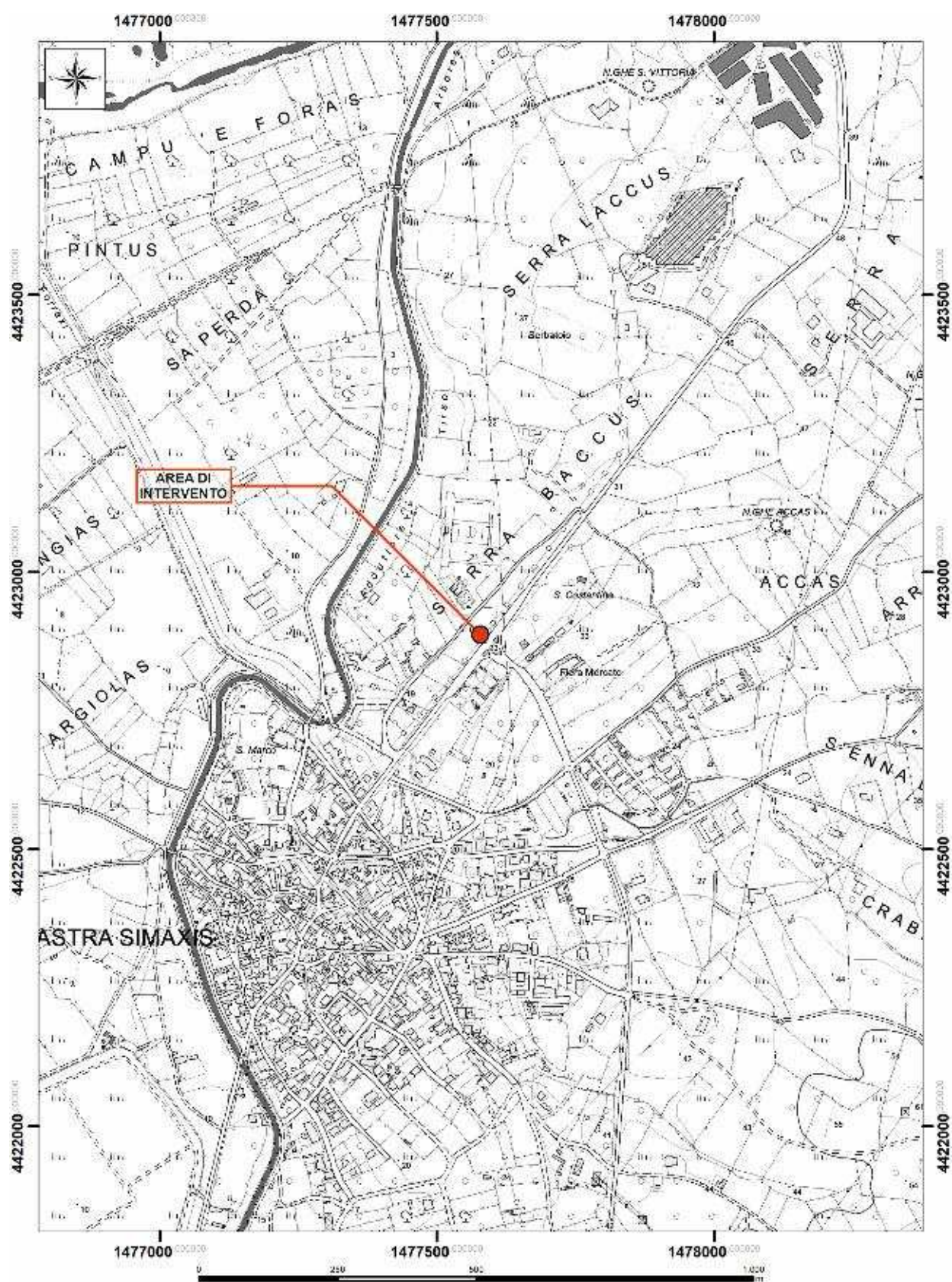


Fig. 4 - Ubicazione dell'area di intervento su cartografia CTR in scala 1: 10.000.



Fig. 5 - Ubicazione dell'area di intervento su ortofoto in scala 1: 10.000.

1.3 Normativa di riferimento

La normativa vigente in materia a cui si è fatto riferimento per lo svolgimento degli studi e la compilazione del presente documento tecnico è la seguente:

- **Legge n. 64 del 02.02.1974** «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche»
- **D.M. LL.PP. 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»
- **Circ. Min. LL.PP. n. 30483 del 24.09.1988** «obbligo di sottoporre tutte le opere civili pubbliche e private da realizzare nel territorio della Repubblica, alle verifiche per garantire la sicurezza e la funzionalità del complesso opere-terreni ed assicurare la stabilità complessiva del territorio nel quale si inseriscono»
- **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 C.S. LL.PP. n. 7 del 21.01.2019** «Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni» di cui al D.M. 17.01.2018»;
- **D.M. 17.01.2018** «Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni»;
- **D.M. 17 gennaio 2018** - Circolare esplicativa del 21 gennaio 2019, n. 7 del Consiglio Superiore dei LL.PP. «Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni» di cui al D.M. 17.01.2018
- **D.M. LL.PP. 16.01.1996** «Norme tecniche per la costruzione in zone sismiche»;
- **Circolare n. 218/24/3 del 09.01.1996** «Istruzioni applicative per la redazione della Relazione Geologica e della Relazione Geotecnica»;
- **Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)** adottato dalla Giunta Regionale con D.G.R. n. 54/33 del 30.12.2004 e reso esecutivo con Decreto Assessoriale n. 3 del 21.02.2005 con pubblicazione nel BURAS n. 8 dell'11.03.2005 e relative **Norme di Attuazione** (aggiornamento alla Deliberazione del Comitato Istituzionale n. 5 del 24.03.2022– Testo Coordinato).;
- **Decreto del Presidente della R.A.S. n. 35 del 21.03.2008** «Norme di Attuazione del P.A.I.».

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

2.1 Assetto geologico e tettonico generale

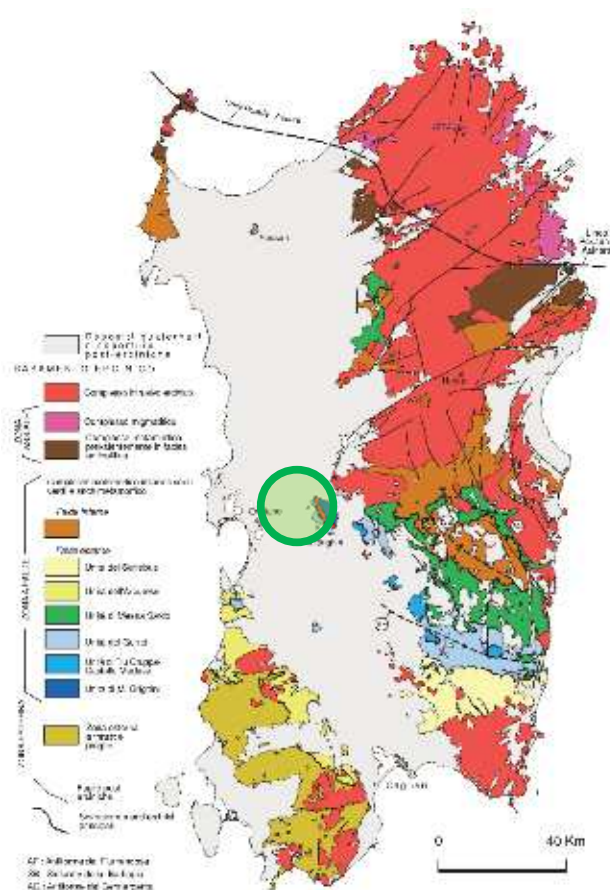


Fig. 6 - Principali elementi strutturali del basamento ercinico sardo (da Carmignani et al., 1987; Barca et Di Gregorio, 1999).

Il movimento crostale verticale, sono quelle che delimitano ad est e ad ovest, i bordi dell'attuale piana campidanese. A tale attività tettonica ha conseguito un intenso vulcanismo, sia effusivo che esplosivo, a prevalente affinità calcalcalina (e localmente peralcalina nelle fasi finali) che ha interessato tutta la Sardegna centro-occidentale. In prossimità dell'area di studio la manifestazione vulcanica più evidente è rappresentata dal massiccio del Monte Arcuentu, costituito da colate laviche e domi a composizione prevalentemente andesitico-basaltica e intrusioni gabbrodioritiche.

La colmata della depressione oligo-miocenica si esplica con la messa in posto di un insieme eterogeneo di rocce sedimentarie (continentali e marine) e vulcaniche di età miocenica e sedimentarie continentali di età plio-quaternaria che, in corrispondenza del Campidano (dove i movimenti tettonici sono proseguiti nel Plio-Quaternario), raggiunge lo spessore di qualche migliaio di metri.

Durante Miocene superiore sino al Plio-Pleistocene la Sardegna viene interessata da una tettonica distensiva, questa volta legata all'evoluzione del Mar Mediterraneo centrale ed in particolare all'apertura del Mar Tirreno centro-meridionale, con manifestazioni vulcaniche di tipo intraplacca (ad esempio il Monte Arci a NE del sito d'interesse) e lo sprofondamento del settore compreso tra il golfo di Oristano e quello di Cagliari attraverso un

L'area in studio ricade nel territorio comunale di Ollastra (OR), nella Sardegna centro-occidentale e precisamente nella subregione del Campidano di Oristano, in prossimità dell'estremità settentrionale della Piana del Campidano, un basso morfologico che si estende per circa 100 km con direzione NW-SE dal Golfo di Oristano al Golfo di Cagliari (Fig. 6). Questa struttura depressa, di origine tettonica, si sovrappone alla più vasta fossa di età oligo-miocenica, il "rift Sardo" (CHERCHI & MONTEDART, 1982) che attraversa la Sardegna in senso meridiano unendo il Golfo dell'Asinara con quello di Cagliari.

La formazione del "rift" si deve ad un'intensa tettonica transtensiva sviluppata durante il Terziario che ne ha provocato lo sprofondamento mediante un complesso sistema di faglie dirette e trascorrenti impostate probabilmente su linee di debolezza erciniche, che localmente ha dato origine a rigetti dell'ordine anche dei 2.000 m.

Allo stato attuale delle conoscenze la strutturazione di questa fascia è in realtà il risultato di tre fasi deformative distinte che si esplicano in tre cicli sedimentari separati da discordanze stratigrafiche. Le faglie più importanti, per continuità e per l'entità del

complesso sistema di faglie per lo più dirette che produrrà strutture a horst e graben. Nel corso del Pliocene superiore e Quaternario questa nuova fossa tettonica, conosciuta in letteratura come *Piana del Campidano*, viene colmata dai sedimenti detritico-alluvionali provenienti dallo smantellamento degli horst del Sulcis-Iglesiente e dell'arburese a W e del Sarrabus Gerrei a E, sino a originare l'attuale conformazione morfologica del Campidano.

Coerentemente con questo contesto tettonico-strutturale, l'areale designato all'esplicazione del progetto in parola, ubicato lungo il margine nord occidentale della piana del Campidano, mostra l'affioramento di una successione cronologicamente variabile: infatti i termini più antichi sono rappresentati dalle formazioni del primo e del secondo ciclo sedimentario miocenico, afferenti rispettivamente alle *Arenarie di Serra Longa* [NLL2] e, in rapporti discordanti, alle *Marne di Gesturi* [GST]. Seguono le rocce effusive dell'ultimo ciclo vulcanico che ha interessato l'Isola, risalenti al Plio-Pleistocene, rappresentate dalle daciti e riodaciti dell'*Unità di Conca de Mesu* [MSU]. Segue in affioramento la successione conglomeratica di età pleistocenica riconducibile al *Subsintema di Portoscuso* [PVM2], principalmente rappresentato da depositi di conoide alluvionale costituiti in prevalenza da ghiaie grossolane [PVM2a]. Questi sedimenti sono sovrastati dai più recenti depositi alluvionali terrazzati [bn], dalle coltri eluvio-colluviali [b2] e dai depositi alluvionali spondali [b], di età da olocenica sino ad attuale.

I rilievi che delimitano a SW questo basso morfologico sono rappresentati in questo settore da colate basaltiche e domi e dicchi a composizione da basaltico ad andesitica, afferenti al Distretto Vulcanico del Monte Arcuentu (Miocene). A tali litologie vulcaniche sono associati i corpi intrusivi a composizione gabbro-dioritica, affioranti più a sud, che rappresentano verosimilmente le camere magmatiche che hanno alimentato il vulcanismo del Monte Arcuentu. Questi corpi intrudono il basamento paleozoico, rappresentato principalmente dalle Arenarie di San Vito. A est dell'area di studio invece la piana del campidano è confinata dal massiccio del Monte Arci, costituito da prodotti lavici e piroclastici a composizione variabile, prevalentemente riolitica, riodacitica e basaltica.

Durante il Pleistocene l'alternarsi di fasi glaciali e interglaciali favorisce il riempimento di questa piana e l'alternanza di periodi di deposizione e di erosione di ambienti alluvionali. Durante le fasi erosive le acque di ruscellamento si sono incanalate sino a incidere profonde valli fluvio-torrentizie, successivamente colmate da sedimenti marini a seguito di una nuova fase trasgressiva avvenuta nel Pleistocene inferiore. La sovrapposizione e l'alternanza più o meno regolare nel tempo di svariati ambienti di sedimentazione continentale ha dato origine anche ad una alternanza di depositi granulometricamente differenti (dalle alluvioni ciottolose ai limi e argille) la cui composizione litologica varia in funzione della prevalenza degli apporti derivanti dallo smantellamento dei sedimenti miocenici (provenienti quasi essenzialmente dal bordo E) o dalle rocce del basamento granitico e metasedimentario ercinico che caratterizza il bordo occidentale.

Limitatamente al settore di interesse si osserva l'abbondante presenza di depositi alluvionali spondali e terrazzati, costituenti il basamento del sito sede del progetto in essere, che sovrastano in continuità stratigrafica i più antichi depositi alluvionali e di spiaggia del Sintema di Portovesme. Questi sedimenti si sono formati durante l'ultima fase trasgressiva che ha coinvolto il Golfo di Oristano tra il Pleistocene superiore e l'Olocene.

Nello specifico settore di intervento la copertura detritica del basamento litificato è rappresentata da depositi di genesi alluvionale (questi ultimi parzialmente litificati) e dai relativi prodotti di alterazione pedogenetica (suoli).

Di seguito viene descritta sinteticamente la stratigrafia dell'ambito di intervento e di un suo congruo intorno, a partire dalle unità litostratigrafiche più recenti, con riferimento alla simbologia ufficiale della cartografia geologica edita da APAT, di cui si riporta uno stralcio in **Fig. 7** integrata da ulteriori informazioni provenienti dai rilievi in situ.

- **Alluvioni attuali e recenti (b)** - Sono rappresentate da alluvioni conglomeratiche e sabbio-limose, in genere con una significativa componente argillosa infra-matrice, riconducibili all'evoluzione olocenica del locale reticolo idrografico a carattere stagionale che drena le acque dei rilievi. I depositi alluvionali attuali sono quasi sempre rappresentati da sabbie e limi bruni, con rare ghiaie fini e scarsa matrice [**bb**], occupano in particolare la piana alluvionale del Fiume Tirso; sono anche presenti barre costituite da ghiaie subarrotondate di diametro centimetrico [**ba**] ad elementi di rocce paleozoiche e vulcaniti cenozoiche, nell'alveo di alcuni torrenti (Riu de S. Anna, Mitza S'Eucaria); sono presenti inoltre depositi costituiti quasi esclusivamente da limi argillosi [**bc**] e sono diffusi in corrispondenza dei corsi d'acqua che si raccordano a grandi aree palustri. Lo spessore osservato è molto variabile e comunque non supera 5 m. *OLOCENE*
- **Coltri eluvio-colluviali (b2)** – Questi sedimenti costituiscono coltri estese alla base dei rilievi, in genere sui versanti a debole pendenza. Essi sono il prodotto dell'alterazione e il rimaneggiamento delle formazioni mioceniche sottostanti. Si tratta di depositi clastici in cui la frazione sabbiosa e siltosa è spesso dominante e si presenta in livelli più o meno pedogenizzati ed arricchiti della frazione organica, fatto che suggerisce che si tratta di depositi derivati dall'erosione del suolo durante l'Olocene, e da materiale grossolano proveniente dalla degradazione fisica del substrato. Generalmente sono presenti elementi più grossolani, come detriti da fini a medi, sempre in quantità subordinata. Il loro spessore è in genere esiguo e non supera 3 m. *OLOCENE*
- **Depositi alluvioni terrazzati (bn)** – Questi depositi tipici di piana alluvionale si formano sia sui bordi del Campidano che nelle pianure dei torrenti minori. I depositi più diffusi presentano facies prettamente ghiaiose grossolane sub-angolose e subarrotondate [**bna**], mentre in minor misura formano depositi sabbiosi con subordinati limi e argille [**bnb**] oppure in taluni casi sono le granulometrie del limo e dell'argilla tendono a essere predominanti [**bnc**]. Questi depositi sono posti generalmente ai lati degli alvei attivi e dei tratti di alveo regimati e non sono interessati dalle dinamiche ordinarie fluviali se non in casi di eventi meteorici eccezionali. Mediamente lo spessore in affioramento non supera i 5 m. *OLOCENE*
- **Subsistema di Portoscuso (PVM2a)** – Questi sedimenti formano terrazzi alluvionali sospesi sui fondi vallivi e sono costituiti prevalentemente da ghiaie medie e fini a spigoli sub-angolosi e sub-arrotondati, localmente intercalate a lenti e livelli di sabbie grossolane. Talvolta la frazione sabbiosa è predominante mentre le ghiaie costituiscono livelli e lenti. I sedimenti più grossolani caratterizzano generalmente la parte superiore delle conoidi. La composizione dei clasti è costituita principalmente da vulcaniti terziarie, quarzo e magmatiti erciniche. Lo spessore massimo in affioramento è di circa 35 m. *PLEISTOCENE SUPERIORE*
- **Unità di Conca de Mesu (MSU)** – Sono rappresentate da daciti e riodaciti da afiriche a debolmente porfiriche; in sottili colate, con livelli ossidianacei basali, cupole e necks. *PLIO-PLEISTOCENE*
- **Marne di Gesturi (GST)** - Questi depositi si trovano generalmente alla base della formazione principale in discordanza angolare rispetto alla sottostante Formazione della Marmilla, segnando l'inizio del secondo ciclo sedimentario miocenico. Affiorano sporadicamente nel settore sud orientale del centro abitato e sono costituiti da arenarie grossolane e conglomerati. Lo spessore è difficile da stabilire a causa della mal conservazione, tuttavia si stima che nei punti in cui è meglio esposta raggiunga un centinaio di m. *BURDIGALIANO SUPERIORE - LANGHIANO MEDIO*
- **Membro delle Arenarie di Serra Longa (NLL2)** - Queste rocce appartengono alla *Formazione di Nurallao* e formano depositi di ambiente litorale-marino formati da arenarie da molto a poco cementate con locale presenza di livelli di ciottoli paleozoici; talora, si passa a vere e proprie sabbie molto pulite. *OLIGOCENE SUPERIORE - BURDIGALIANO INFERIORE*

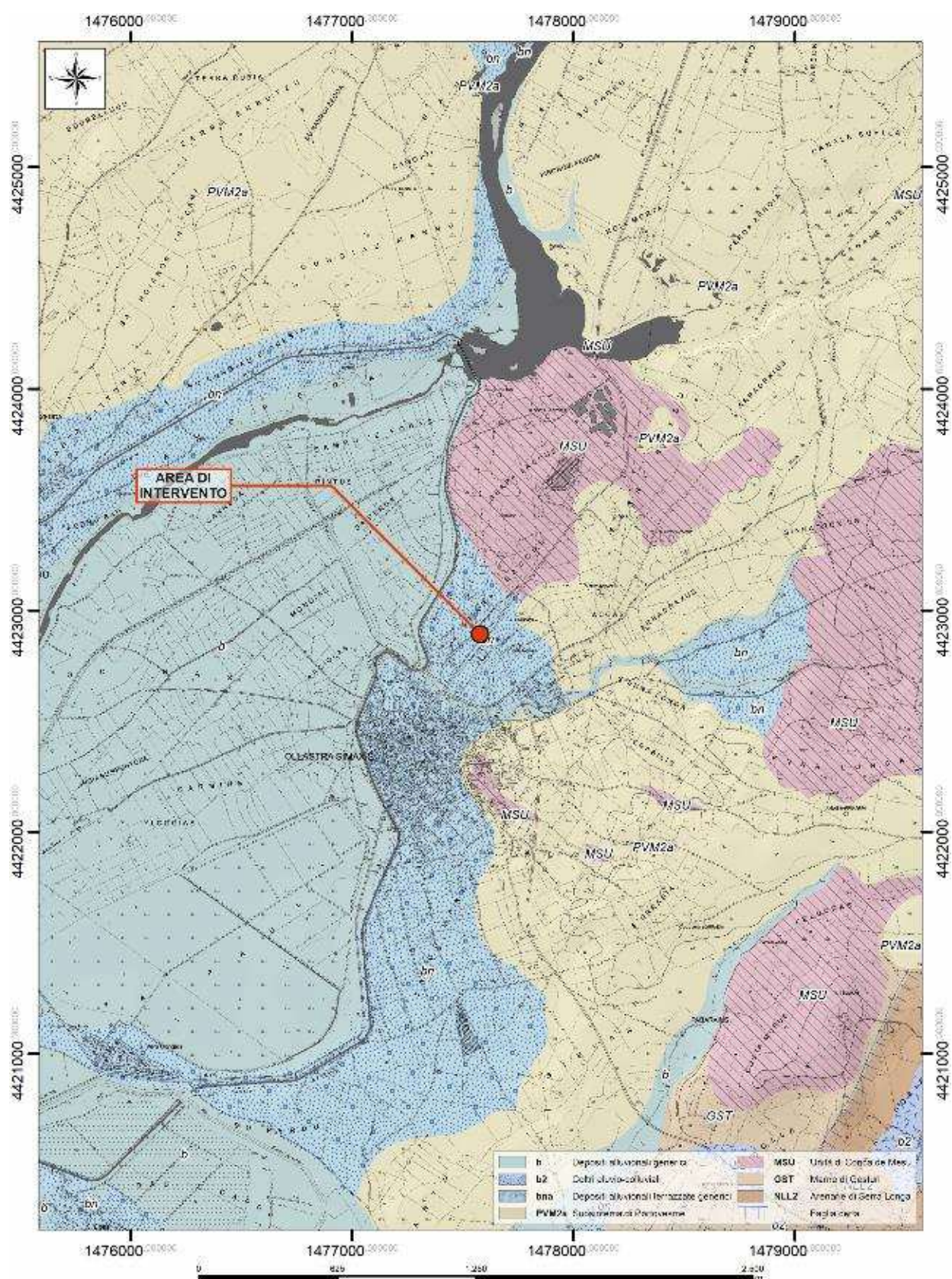


Fig. 7 – Stralcio della carta geologica del settore di intervento in scala 1: 25.000.

2.2 Caratterizzazione geomorfologia del sito

La macroarea in cui si inserisce il progetto in essere, le cui litologie prevalenti sono rappresentate dai depositi alluvionali terrazzati sovente a tetto dei terrazzi alluvionali antichi afferenti al Sintema di Portovesme, è dominata da una morfologia variabile e suddivisibile in tre principali ambienti. La porzione orientale rispetto al comune, che comprende il complesso montuoso/collinare del Monte Grighini, è caratterizzata da un ambiente tipicamente pedemontano, mentre dalla propaggine ovest di questo settore sino al canale adduttore Tirso-Arborea, all'interno del centro abitato, il territorio è caratterizzato da un ambiente subpianeggiante tipico di piana alluvionale, raramente intervallato da deboli ondulazioni. A ovest del centro abitato e delimitato ad ovest dal Fiume Tirso e ad est dal canale adduttore Tirso-Arborea, ed attraversato dal Rio Forraxi e dal canale collettore di bonifica, si passa a un ambiente umido.

L'altitudine varia dagli 8 m s.l.m. dei terreni ubicati sul confine occidentale del territorio comunale ai 23 m verso il settore orientale, fino ai circa 380 m nelle aree più distali (**Fig. 9**), con deboli pendenze verso SW di circa $3^{\circ}\div 6^{\circ}$ sino a 20° nei settori collinari (**Fig. 10**).

Talvolta la bassa posizione topografica crea notevoli problemi per il drenaggio delle acque, causando episodi di parziale sommersione di alcuni settori durante la stagione piovosa, con accumulo di sedimenti fini. L'azione degli agenti morfogenetici è limitata a scarsi fenomeni di ruscellamento diffuso delle acque meteoriche che raggiungono i compluvi e gli alvei dei corsi d'acqua. Appare di rilevante importanza la trasformazione ambientale legata all'attività antropica, che si esplica principalmente con interventi di bonifica idraulica e preparazione di terreni per agricoltura e pascolo, particolarmente concentrati in tutto il territorio in esame.

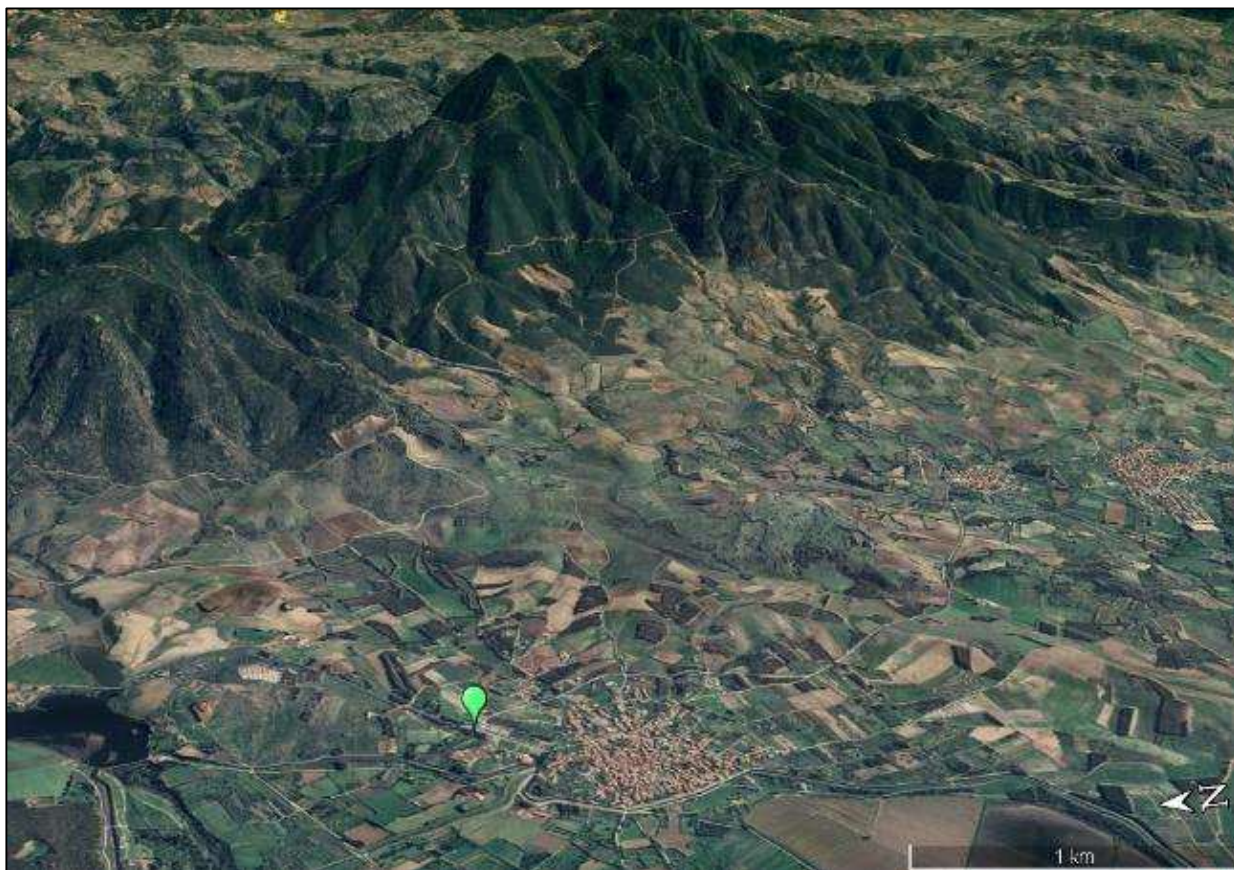


Fig. 8 - Assetto geomorfologico del settore di intervento (Google Earth 3D, esagerazione altimetrica = 2x).

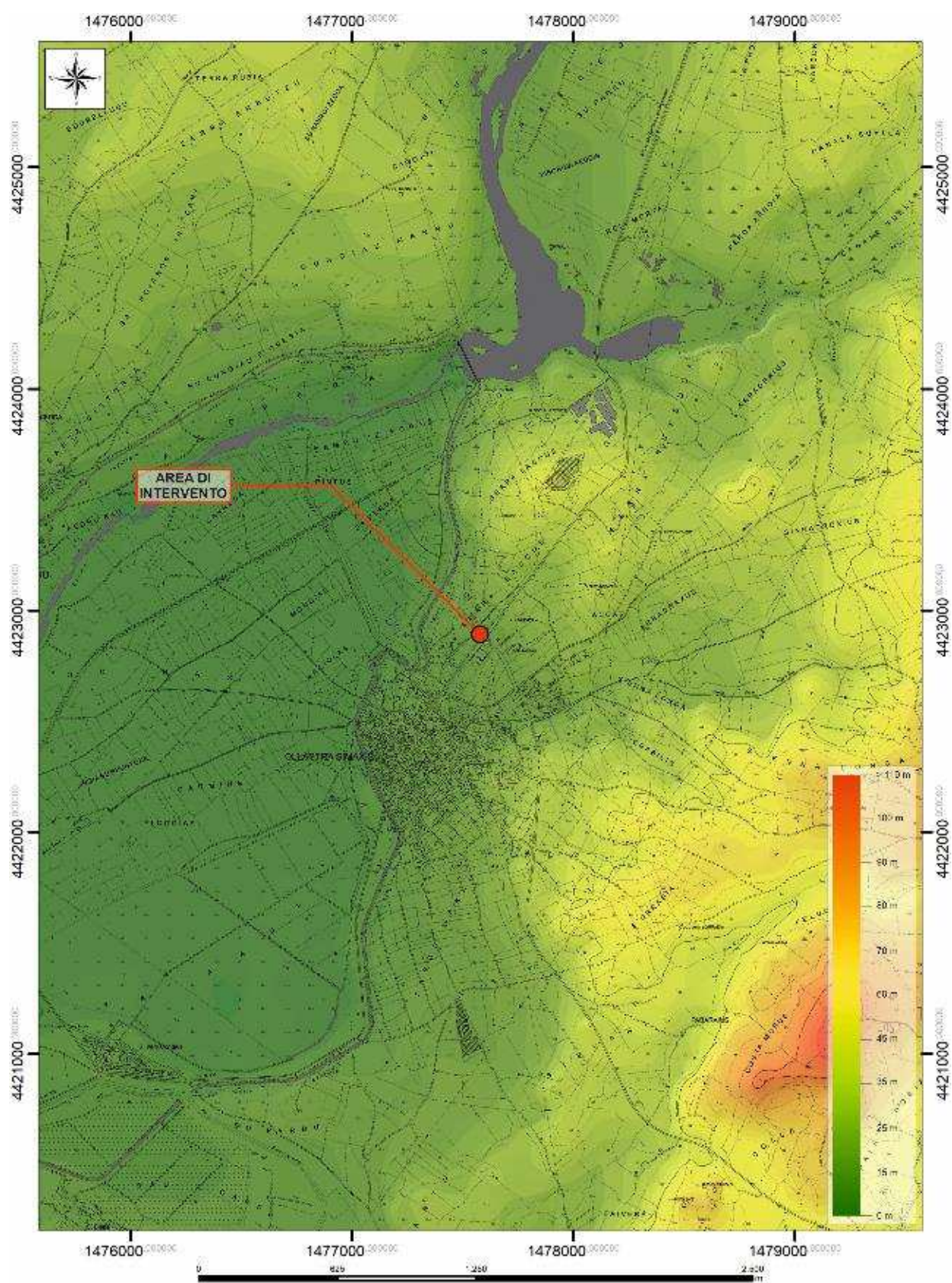


Fig. 9 – Carta delle altimetrie in scala 1: 25.000.

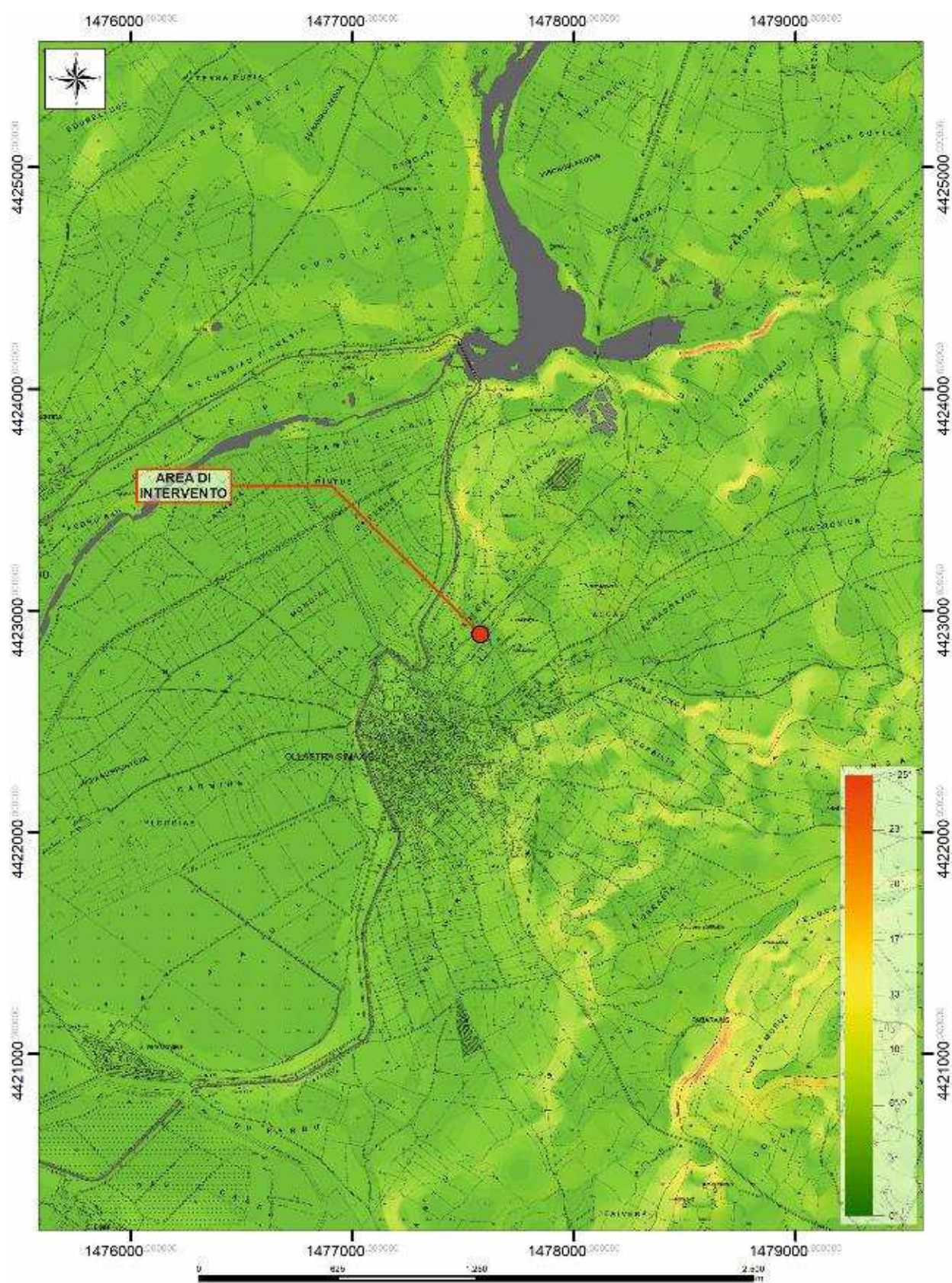


Fig. 10 -- Carta delle pendenze in scala 1: 25.000.

2.3 Inquadramento idrografico e idrogeologico

Per quanto concerne l'idrografia superficiale, i principali corsi d'acqua che drenano il territorio in esame sono caratterizzati da andamento rettilineo - meandriforme, e fanno parte del bacino idrografico del fiume Tirso ().

Il reticolo minore è formato da piccoli fiumi a carattere torrentizio e strettamente correlato alla piovosità stagionale e agli eventi meteorologici eccezionali, talvolta repentini e violenti, concentrati nei pochi mesi piovosi.

L'area è inoltre caratterizzata da diverse canalizzazioni artificiali realizzate in passato per la regimazione delle acque, in particolare per favorire le attività agricole e pastorali.

Al fiume Tirso, che è il corso d'acqua principale, nonché il più importante come estensione e portate di tutta l'Isola, fanno riferimento una serie di tributari che si immettono sia in destra sia in sinistra idrografica del fiume.

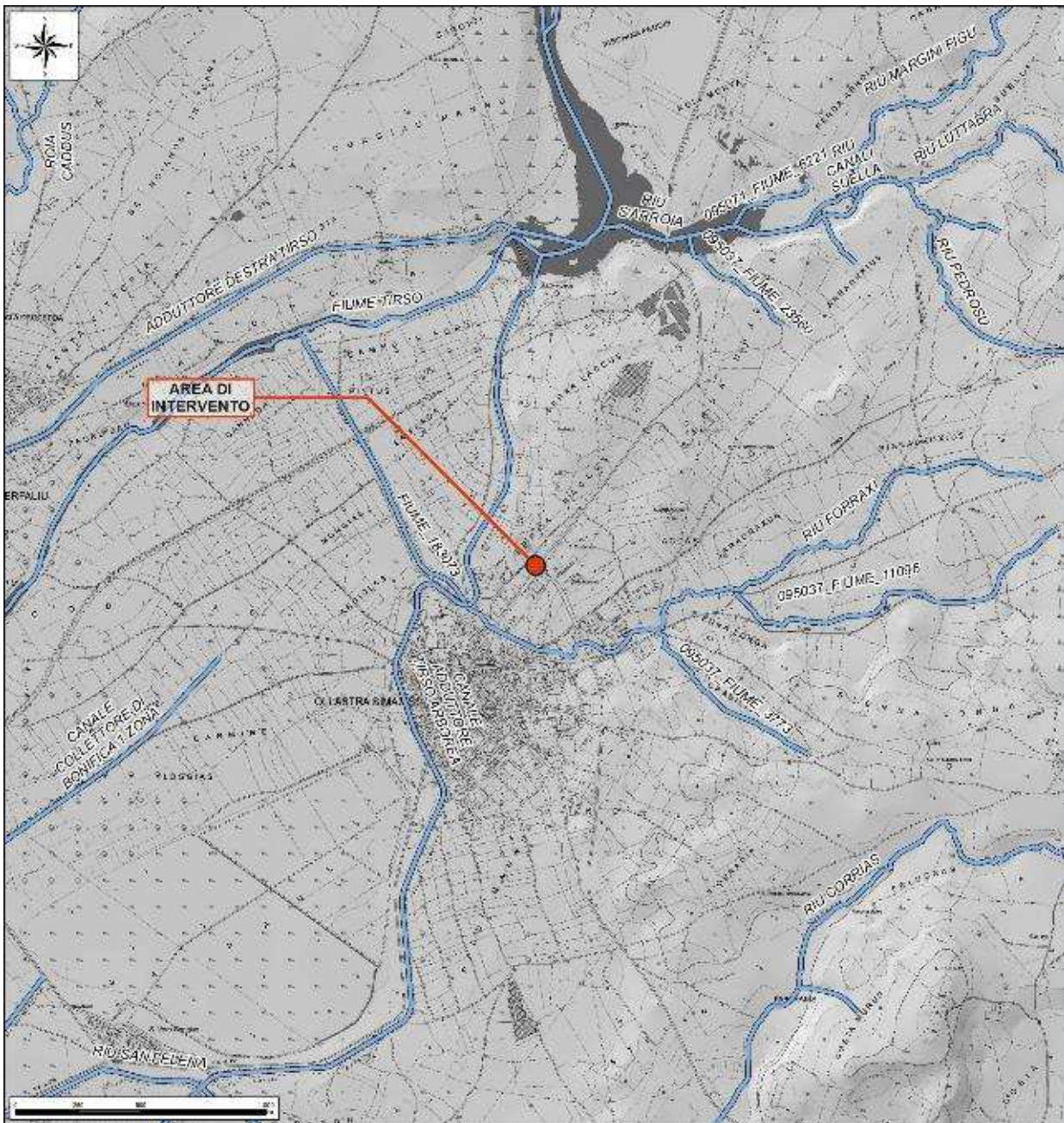


Fig. 11 – Carta dell'idrografia superficiale in scala 1: 25.000

2.4 Inquadramento idrogeologico

Il territorio comunale di Ollastra ricade all'interno del sub-bacino n.2 denominato Tirso, all'interno dell'Unità idrogeologica omogenea denominata Flumini Mannu di Pabillonis-Mogoro (**Fig. 12**). Nel territorio attraversato dalla rete drenante dei due corsi d'acqua principali, il Riu Mogoro e il Riu Flumini Mannu di Pabillonis, con particolare riferimento all'area interessata dal progetto in essere, secondo l'analisi idrogeologica utilizzata per la stesura del Piano Tutela Acque della Regione Sardegna, è possibile individuare esclusivamente il complesso idrogeologico del «*Campidano - Unità detritico-alluvionale plio-quadernarie* » di cui sono descritte le principali caratteristiche di interesse ai fini del presente studio. Si tratta di depositi alluvionali ghiaiosi e sabbiosi, con permeabilità alta per porosità, localmente medio-alta e alta nei termini alluvionali antichi del Sub-sistema di Portovesme e alta nei livelli a matrice più grossolana e sabbiosa delle alluvioni recenti costituenti questi ultimi il substrato del sito in esame (**Fig. 13**).

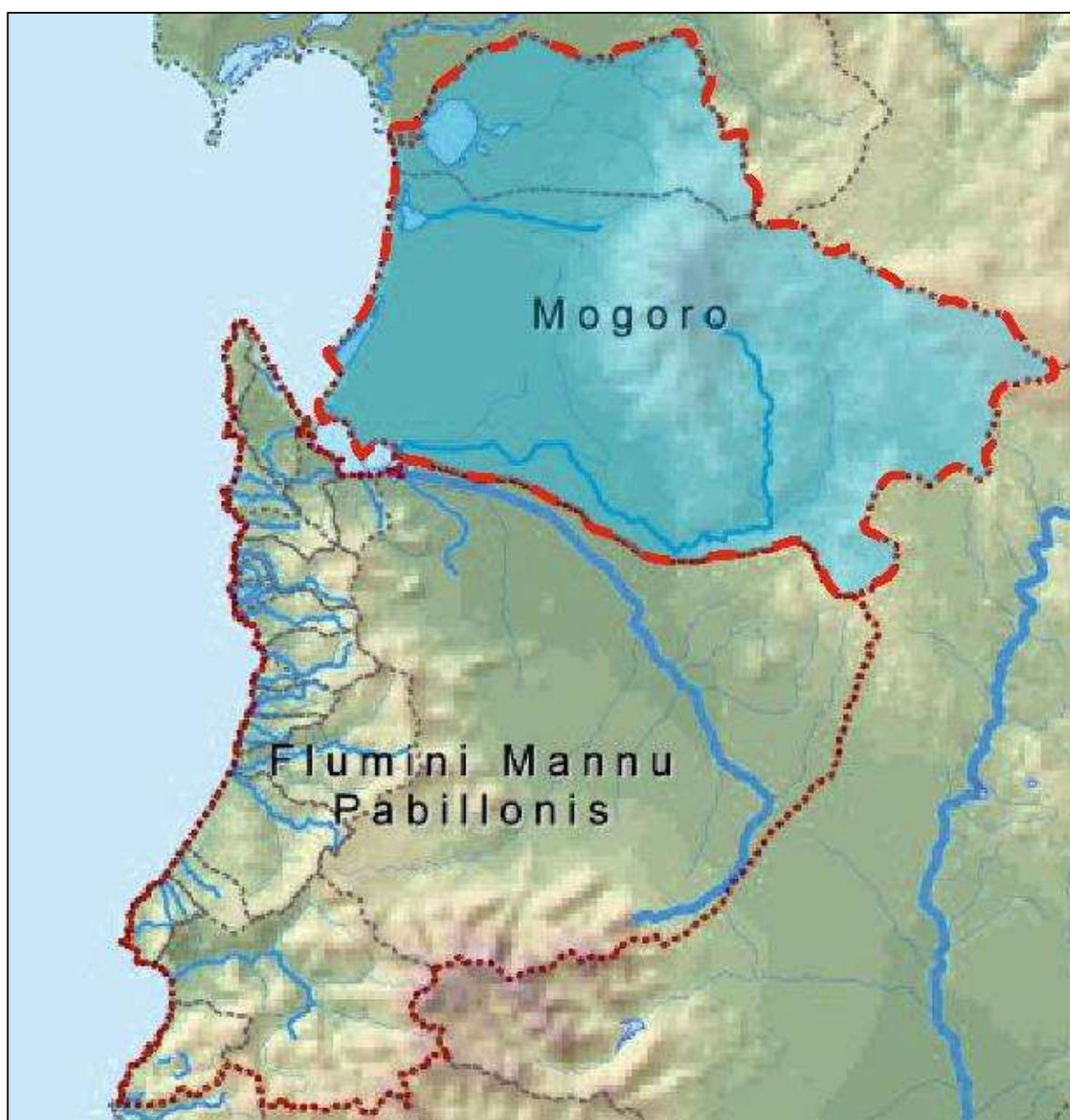


Fig. 12 - Unità idrogeologica omogenea del Flumini Mannu di Pabillonis-Mogoro.

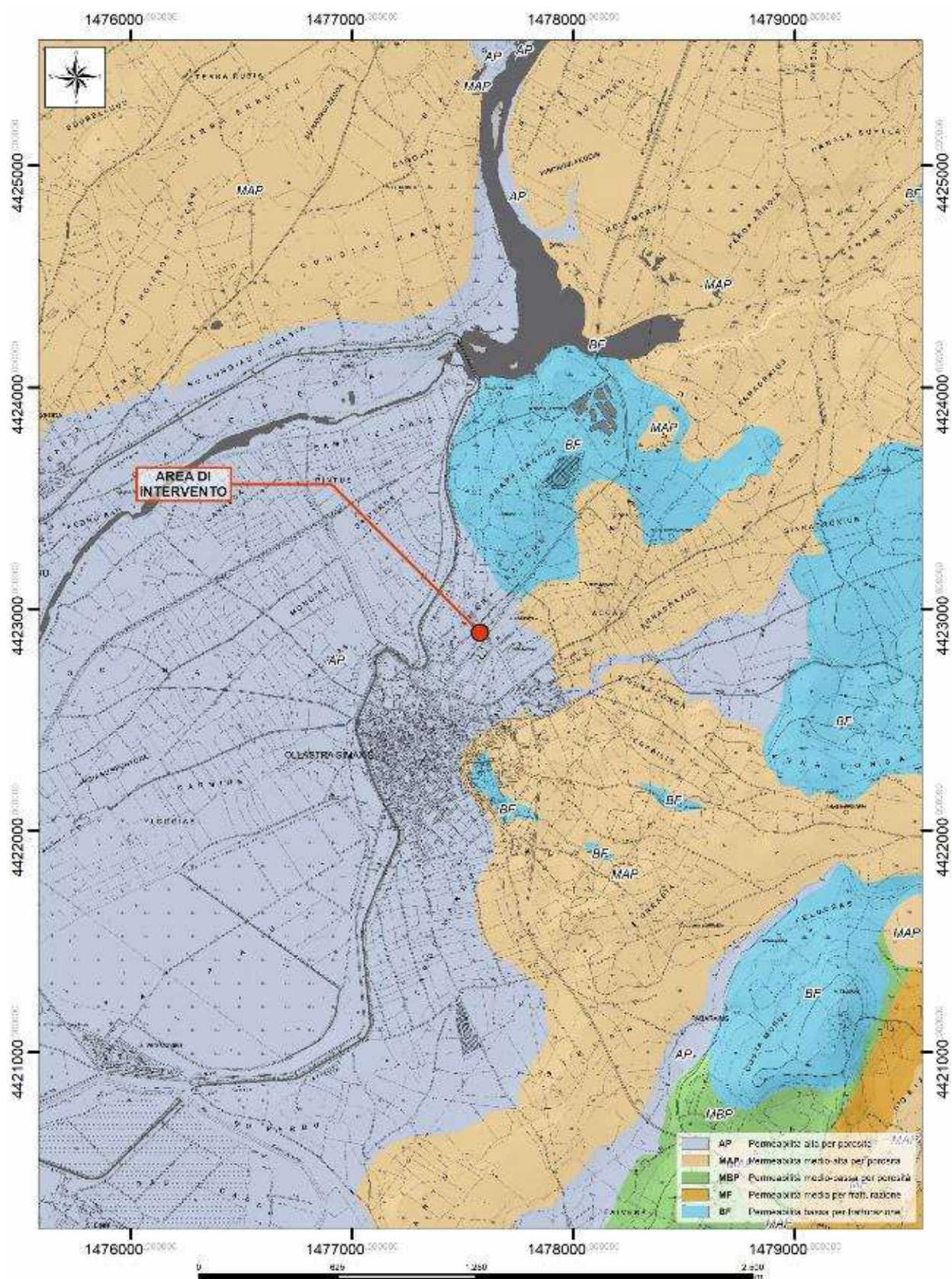


Fig. 13 - Carta della permeabilità in scala 1: 25.000.

2.5 Assetto litostratigrafico locale

L'approccio cognitivo della condizione geologico-stratigrafica del sito è stato condotto attraverso l'analisi di N. 2 (due) prove penetrometriche dinamiche (**Fig. 14**).

Tali indagini sono state finalizzate a:

- ricostruire l'assetto stratigrafico nel sito d'indagine;
- fornire indicazioni sulla presenza di acque del sottosuolo;

A causa dell'impossibilità di eseguire sondaggi o scavi esplorativi, la stratigrafia del sito è stata ricavata dall'analisi congiunta dei dati provenienti da fonti bibliografiche e dalle prove penetrometriche.



Fig. 14 - Posizionamento delle prove penetrometriche.

In definitiva il sito risulta mediamente caratterizzato da 2 livelli:

Strato A - Terreno pedogenizzato argilloso molto consistente;

Strato B – Deposito alluvionale ghiaio-sabbioso (da verificare).

I primi decimetri di suolo, costituiti prevalentemente da argilla e limo, potrebbero verosimilmente essere il risultato delle lavorazioni eseguite sia sulla SS387 sia sui terreni agricoli a contorno del sito di indagine. Al di sotto, a causa dell'impossibilità di eseguire sondaggi o scavi esplorativi, non si conosce la reale condizione geologica del sito; tuttavia considerando i dati della prova penetrometrica e l'osservazione di alcuni tagli stradali presenti in prossimità del sito, unitamente alle informazioni reperibili dalla cartografia geologica ufficiale, si ipotizza la presenza di depositi alluvionali terrazzati di età olocenica, costituiti verosimilmente da ghiaia in matrice sabbiosa.

La durezza del deposito aumenta in funzione della profondità, sino nell'intervallo di quota investigato di - 0,20÷0,70/0,80 m, dove il terreno è andato a rifiuto strumentale.

3 MODELLO GEOTECNICO

3.1 Programma delle indagini

Il programma di indagine ha fornito le informazioni necessarie all'elaborazione della stratigrafia del sito e delle caratteristiche litotecniche degli strati indagati, nonché la natura di questi ultimi.

I dati ricavati hanno permesso di ottenere i parametri dell'area di intervento con la quale è stato possibile elaborare le caratteristiche di portanza e di resistenza del sedime necessari alla caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Sono state programmate e realizzate N. 2 (due) prove penetrometriche dinamiche in modo tale da ottenere una correlazione puntuale e precisa tra le unità litostratigrafiche individuate e la resistenza alla penetrazione. Si è così proceduto alla parametrizzazione geomeccanica del sedime di intervento e all'identificazione di eventuali situazioni particolari utili alla verifica dei caratteri geotecnici. La posizione delle prove penetrometriche è stata stabilita in funzione dell'ubicazione delle opere in progetto (**Fig. 15**).

Le indagini e le prove eseguite in sito sono risultate estremamente coerenti nei risultati ed hanno quindi fornito un quadro completo che ha permesso di eseguire una modellazione geologica estremamente affidabile.



Fig. 15 – Planimetria delle prove penetrometriche.

3.2 Caratterizzazione litotecnica qualitativa dei terreni

Lo scopo di questa sezione è quello di fornire un'analisi tecnico-applicativa e di tipo qualitativa attinente ai terreni di posa delle future opere edili che verranno realizzate.

Come evinto dai rapporti stratigrafici, esposti nel precedente capitolo, il sedime è caratterizzato da uno strato di circa 0,20 m formato da terreno pedogenizzato costituito principalmente da argilla, verosimilmente a tetto di un substrato alluvionale ghiaioso in matrice sabbiosa, così come riportato nella cartografia geologica consultabile su *Sardegna Geoportale*.

Dalle caratteristiche del progetto in essere, il rilevato stradale che costituirà il substrato di fondazione per la nuova rotonda interagirà direttamente con il terreno alluvionale.

In relazione alle proprietà dei terreni in esame la copertura terrigena superficiale risulta essere ben addensata, in funzione della scarsa idratazione del terreno argilloso, offrendo una resistenza alle sollecitazioni meccaniche da mediocri a buone, mentre il materiale sottostante, essendo caratterizzato da un buon grado di addensamento e dalla presenza di ghiaia, ha presentato un buon grado di consolidazione che aumenta proporzionalmente alla profondità, in rapporto alla sua storia pregressa, ed è caratterizzato da una buona resistenza.

La prima fase esecutiva dei lavori dovrà necessariamente prevedere la rimozione dei limitati materiali cedevoli. È opportuno, in ogni caso, che il livello del piano di sedime venga verificato in fase esecutiva al fine di evitare l'applicazione disomogenea dei carichi.

La valutazione quantitativa dei parametri geomeccanici è stata condotta attraverso l'esecuzione di 1 prova penetrometrica. Queste ultime sono state eseguite con un penetrometro dinamico medio-leggero mod. 16-T0013/E della CONTROLS S.r.l. (**Fig. 16**).

La prova consiste nel lasciar cadere un maglio del peso di 20 Kg (o 30 Kg) da un'altezza standard di 20 cm sopra un'incudine che trasmette l'energia su delle aste di diametro $\varnothing$ 22 mm. Le aste spingono una punta conica che penetra nel terreno; in base al numero di colpi necessari all'approfondimento successivo e continuo di 10 cm delle aste, si ottengono, attraverso l'applicazione di formule empiriche, alle caratteristiche meccaniche del terreno considerato.

La grande casistica nonché l'enorme diffusione di questa tipologia di prova, standardizzata a livello internazionale, consente di ottenere dei dati significativi altamente attendibili.

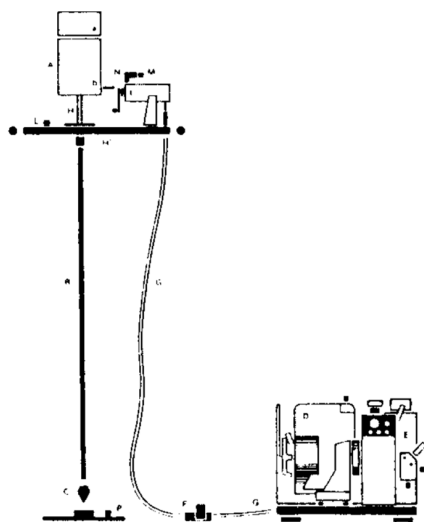


Fig. 16 - Schema del Penetrometro dinamico.

CARATTERISTICHE TECNICHE DEL PENETROMETRO:

SISTEMA D'INFISSIONE:

A: maglio di caduta libera Kg. 30 (a+b) = 20+10 aggiuntivi.

B: aste acciaio speciale $\varnothing$ 22 mm, L= 100 cm P= 2.9 Kg/m.

C: Punta conica $\varnothing$ 3.6 cm, B = 60°/90° - S = 5/10 cm²

H: Altezza di caduta libera del maglio 20 cm.

GRUPPO MOTORE:

D: motore, Honda, 4 tempi KW 1.9 -97 CC 4200 giri/minuto.

E: Pompa idraulica con serbatoio

I: Motore

Frequenza caduta maglio = max. 45 colpi/minuto.

Sistema estrazione aste: a leva.

Sono state considerate le prove P1 e P2, per le quali si è pervenuti al rifiuto strumentale determinato dalla presenza della copertura terrigena addensata.

I risultati delle prove penetrometriche sono riportati negli elaborati allegati. I dati spuri di significato (incongruenti) sono indicati con colore differente (rosso), mentre con 99 (sempre in rosso) sono indicati i tratti per i quali la penetrazione, per motivi localizzati (es. residui di roccia meno alterata o bed rock) è stata raggiunta con un numero di colpi maggiore di 100 (dato non considerabile in relazione al tipo di prova e strumento).

Le tabelle indicano, oltre al numero di colpi per tratto ed alla resistenza dinamica alla punta, dei dati di portanza unitaria (pressione ammissibile specifica sull'interstrato con effetto di riduzione per svergolamento o no) calcolata secondo le elaborazioni proposte da Herminier e ottenuti utilizzando un coefficiente di sicurezza pari a 22 (caratteristico dello strumento) corrispondente ad un coefficiente di sicurezza standard pari a 4, relativo ad una geometria fondale di larghezza pari a 1 m ed un immorsamento d=1m. I dati sono stati elaborati in ambiente Dynamic Probing della GeoStru Software. In riferimento alle indagini eseguite ed alle prove (tipologia di strumento utilizzato).

Di seguito vengono riportati i risultati delle penetrometriche:

P1		P2	
Profondità (m)	Nr. Colpi	Profondità (m)	Nr. Colpi
0,10	10	0,10	12
0,20	13	0,20	15
0,30	45	0,30	41
0,40	48	0,40	43
0,50	50	0,50	46
0,60	50	0,60	50
0,70	50	0,70	50
-		0,80	50

3.3 Risultati delle indagini e caratterizzazione litotecnica quantitativa

La parametrizzazione del substrato di fondazione ha permesso di attribuire i vari valori dei parametri al materiale di sottofondo precedentemente descritto.

STRATO DI SOTTOFONDO A – RIPORTO (suolo argilloso)

0,00 ÷ 0,20

STRATO DI SOTTOFONDO B – GHIAIA IN MATRICE SABBIOSA

0,20 ÷ 0,70/0,80m

Tab. 2 - Parametrizzazione Litotecnica degli strati								
STRATO	Peso specifico	Mod. Edometrico	Mod. di Young	Coesione	Modulo di Poisson	Modulo di deformazione e al taglio	Angolo di attrito interno	Modulo di deformazione e al taglio dinamico
	(t/m ³)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	AD	(Kg/cm ²)	(°)	(Kg/cm ²)
Strato A	1,70	85	120	0.0	0,34	530	25	490
Strato B	1,90	190	265	0.0	0,32	880	33	1.020

Commenti

3.4 Valutazione dei cedimenti

I principali meccanismi che contribuiscono allo sviluppo dei cedimenti sono:

- compressione e inflessione delle particelle di terreno per incremento delle tensioni di contatto (tale fenomeno produce deformazioni in gran parte reversibili, ovvero elastiche);
- scorrimento relativo dei granuli indotto dalle forze di taglio intergranulari (tale fenomeno produce deformazioni in gran parte irreversibili, ovvero plastiche);
- frantumazione dei grani in presenza di elevati livelli tensionali (le conseguenti deformazioni sono irreversibili);
- variazione della distanza tra le particelle dei minerali argillosi, dovuta a fenomeni di interazione elettrochimica (le conseguenti deformazioni sono in parte reversibili e in parte irreversibili in relazione alle caratteristiche del legame di interazione);
- compressione e deformazione dello strato di acqua adsorbita (le conseguenti deformazioni sono in gran parte reversibili, ovvero elastiche);

In definitiva, le deformazioni (e quindi i cedimenti) conseguono direttamente alla:

1. compressione delle particelle solide (incluso lo strato di acqua adsorbita);
2. compressione dell'aria e/o dell'acqua all'interno dei vuoti;
3. espulsione dell'aria e/o dell'acqua dai vuoti.

Per quanto riguarda il primo caso, in riferimento al solo substrato alluvionale che interagirà in maniera diretta con le opere fondali, per i valori di carico di esercizio relativi al suddetto progetto si può affermare che la deformabilità dello scheletro è trascurabile, di conseguenza il cedimento nei terreni è dovuto prevalentemente all'assestamento delle particelle che costituiscono la matrice sabbio-limosa, e sono cedimenti a breve/medio termine a seconda della percentuale di argilla contenuta.

Sarebbe oltremodo opportuno osservare un periodo di riposo di circa 20 gg tra la posa delle fondazioni e le successive fasi di installazione. In via del tutto cautelativa, si ritiene opportuno osservare un certo tempo affinché il terreno esaurisca l'effetto delle pressioni neutre dovute dalla presenza d'acqua nel terreno, di fatto se una parte della matrice è argillosa è necessario la dissipazione dell'acqua contenuta, la quale richiederà un certo tempo.

Il cedimento è di seguito ipotizzato, in via del tutto cautelativa, sulla base delle seguenti assunzioni:

- Fondazione a platea 1 m x 1 m
- Profondità piano di posa 0,40 m
- Carico sul terreno di fondazione 2,50 Kg/cm²
- Spessore strato compressibile 8,00 m

CEDIMENTI ELASTICI

Pressione normale di progetto	250,0 kN/m ²
Spessore dello strato	1,8 m
Profondità substrato roccioso	20,0 m
Modulo Elastico	25000,0 kN/m ²
Coefficiente di Poisson	0,32
Coefficiente di influenza I1	0,39
Coefficiente di influenza I2	0,04
Coefficiente di influenza Is	0,41
Cedimento al centro della fondazione	5,62 mm
Coefficiente di influenza I1	0,26
Coefficiente di influenza I2	0,07
Coefficiente di influenza Is	0,3
Cedimento al bordo	2,03 mm

CEDIMENTI BURLAND E BURBIDGE

Pressione normale di progetto	250,0 kN/m ²
Tempo	2,0
Profondità significativa Zi (m)	2
Media dei valori di Nspt all'interno di Zi	30
Fattore di forma fs	1
Fattore strato compressibile fh	1
Fattore tempo ft	1
Indice di compressibilità	0,015
Cedimento	3,577 mm

3.5 Parametrizzazione sismica

Dall'analisi della sismicità di base e storica, è emerso quanto segue:

Con l'entrata in vigore delle NTC 2018 l'identificazione della categoria del sottosuolo è basata sulla descrizione stratigrafica e sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs. **Ai fini della valutazione semplificata della risposta sismica locale, nell'attuale versione delle NTC, non è più consentita la classificazione del sottosuolo sulla base del parametro $N_{SPT,30}$ per i terreni a grana grossa e $C_{u,30}$ per i terreni a grana fine.** Ciò era invece permesso nelle NTC08.

Le attuali norme tecniche richiedono che la categoria di sottosuolo sia stabilita sulla base del profilo Vs. **La misura diretta di Vs attraverso specifiche indagini geofisiche è in ogni caso preferibile**, essendo consentita in alternativa la definizione del profilo Vs attraverso il ricorso a correlazioni empiriche **"di comprovata affidabilità"** solo per il metodo semplificato ed in ipotesi residuali, stante la maggiore incertezza che caratterizza la determinazione di Vs con le citate correlazioni empiriche.

Mediante l'OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003 sono stati emanati i criteri per la nuova classificazione sismica del territorio nazionale e tutti i comuni della Sardegna sono classificati in zona 4 (a sismicità bassa), di recente, nelle NTC 2018, sono stati eliminati i riferimenti alle zone sismiche.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in **Tab. 3.2.II**.

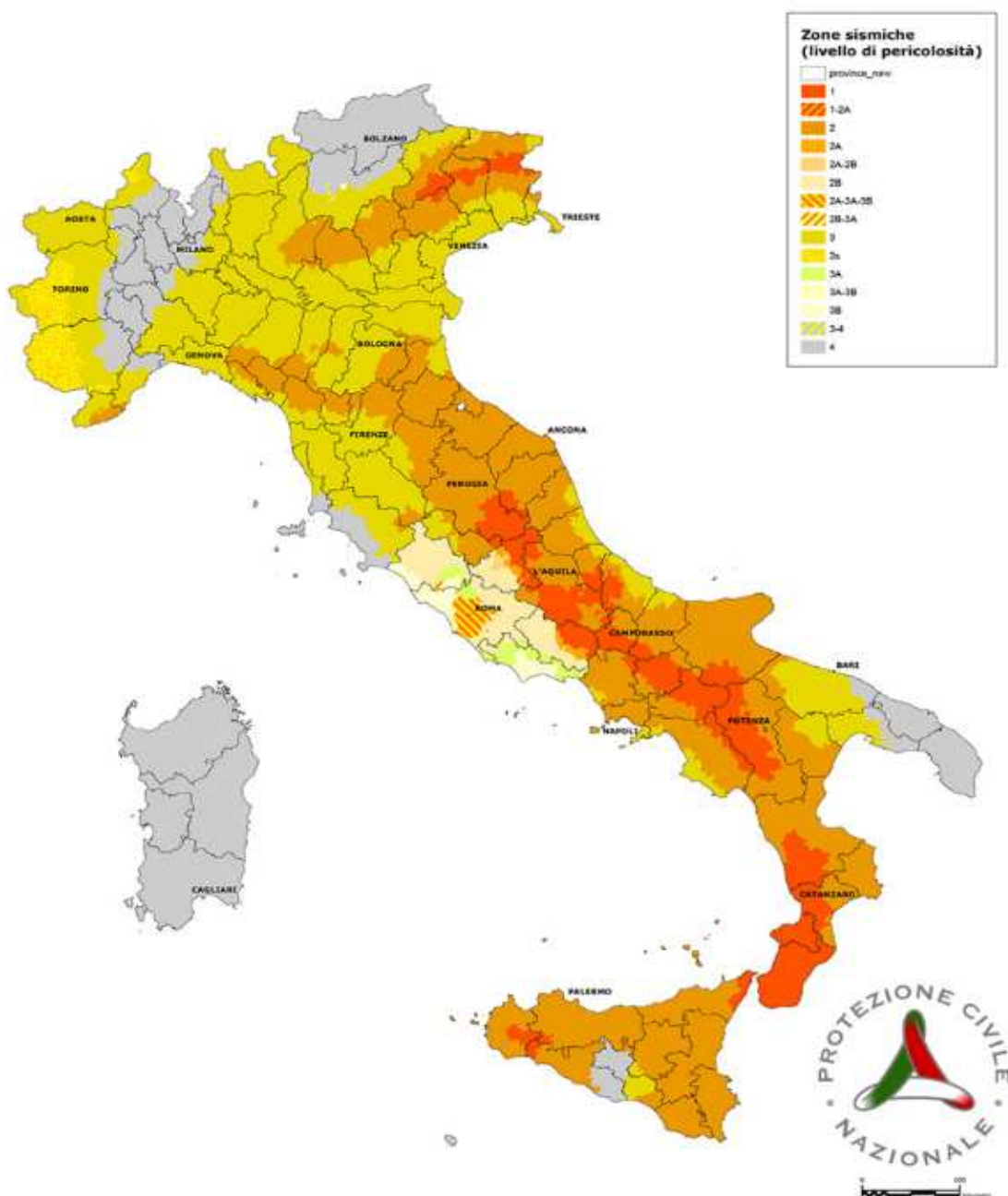
Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di <i>velocità delle onde di taglio</i> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere 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, <i>con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

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

La velocità equivalente $V_{s,eq}$ si misura dal punto di partenza, ma non fino a 30 m, bensì fino al substrato sismico, se questo non è profondo più di 30 m. Per profondità del substrato maggiori di 30 m la velocità equivalente $V_{s,eq}$ è uguale a $V_{s,30}$ ponendo $H=30$ m e assumendo le proprietà degli strati fino a tale profondità.

SUBSTRATO A PROFONDITA' > 30m $V_{s,eq}=V_{s,30}$

Per tutti i terreni che **non rientrano** nelle categorie di sottosuolo riportate in Tab 3.2. Il **è necessario effettuare l'analisi di Risposta Sismica Locale (RSL)**.



In conclusione avremmo per il sito di interesse e limitatamente allo strato interagente con le fondazioni, la seguente classificazione sismica:

STRATO B - CATEGORIE DI TERRENO "C". e CONDIZIONI TOPOGRAFICHE DI TIPO T1

4 ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA E GEOLOGICA

4.1 Pericolosità idraulica

La pericolosità idraulica H_i rappresenta la probabilità di superamento della portata al colmo di piena.

Dall'andamento del reticolo di drenaggio locale delle acque superficiali non si riscontrano interazioni negative tra i deflussi idrici e l'area di intervento in quanto il sito è caratterizzato da pendenze modeste della superficie topografica e dalla quasi totale assenza di aree di accumulo. L'area in esame non risulta perimetrata ai sensi delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio dell'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Il sito inoltre non ricade tra le aree perimetrare dal Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (P.S.F.F.), dal Piano Gestione Rischi Alluvioni (P.G.R.A.), e non risulta compresa tra le aree alluvionate dal cosiddetto "Ciclone Cleopatra".

Conseguentemente gli interventi in progetto risultano compatibili con l'attuale assetto idraulico dei luoghi in quanto le suddette opere, qualora si verificasse un evento meteorologico di entità straordinaria, non costituiranno ostacolo al normale deflusso delle acque superficiali.

4.2 Pericolosità da frana

La pericolosità da frana H_g individua la possibilità dell'instaurarsi di fenomeni franosi potenzialmente dannosi per manufatti o persone. Dalla consultazione della relativa cartografia per l'area interagentente con il suddetto intervento e di un suo congruo intorno, non sono indicate condizioni di pericolosità da frana e non risulta altresì perimetrata ai sensi delle Norme di Attuazione del Piano Stralcio dell'Assetto Idrogeologico (P.A.I.).

Coerentemente con le sue caratteristiche geologiche non sono noti nell'area doline, sink-hole o altre tipologie di subsidenza naturale. Analogamente, non si è a conoscenza di abbassamenti del suolo provocati dallo sfruttamento delle falde acquifere.

Anche i rilievi condotti al contorno dell'area non hanno fatto ravvisare condizioni di criticità ante e post operam essendo le opere in oggetto ubicate su una morfologia pianeggiante non interessata da fenomeni franosi in atto o potenziali.

4.3 Pericolosità sismica

La bassa sismicità dell'Isola fa escludere elementi di pericolosità sismica che possano compromettere l'integrità e la fruibilità dell'opera in progetto.

5 IN SINTESI

L'analisi geologica e stratigrafica dell'area interessata, associata ai dati bibliografici relativi alle litologie del sito in esame, caratterizzata nella fattispecie da uno strato di spessore di circa 0,20 m formato da terreno pedogenizzato costituito principalmente da argilla, verosimilmente a tetto di un substrato alluvionale ghiaioso in matrice sabbiosa ben addensato, ha permesso di verificare l'idoneità del substrato locale ad essere utilizzato come piano di fondazione del rilevato stradale su cui verrà costruita la rotonda. Considerando che il piano di posa è rappresentato verosimilmente da terreni naturali costituiti da alluvioni oloceniche costituite da ghiaia in matrice sabbiosa ben addensata alla quota media di circa -0,20 m, e che i terreni al di sopra di questa quota non avranno nessuna interazione con la stratigrafia del rilevato in quanto soggetti a scottico, dalle elaborazioni software è emerso che il substrato di fondazione presentano buone caratteristiche di resistenza.

I parametri geotecnici sono i seguenti:

Tab. 2 - Parametrizzazione Litotecnica degli strati								
STRATO	Peso specifico	Mod. Edometrico	Mod. di Young	Coesione	Modulo di Poisson	Modulo di deformazione e al taglio	Angolo di attrito interno	Modulo di deformazione e al taglio dinamico
	(t/m ³)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	(Kg/cm ²)	AD	(Kg/cm ²)	(°)	(Kg/cm ²)
Strato A	1,70	85	120	0.0	0,34	530	25	490
Strato B	1,90	190	265	0.0	0,32	880	33	1.020

Anche i dati sui cedimenti, eseguiti simulando un carico di esercizio cautelativo di 2,50 kg/cm² e assumendo su una fondazione tipo platea delle dimensioni 1,00x1x00 m incassata a -0,40 m da p.c., sono stati estremamente buoni, infatti nella peggiore delle ipotesi, attraverso l'elaborazione con metodo Burland e Burbidge si stimano cedimenti massimi attesi di circa 3,60 mm, mentre secondo il metodo dei Cedimenti Elastici si stimano cedimenti massimi attesi di circa 5,62 mm.

In conclusione i terreni esaminati che contestualizzano l'area, limitatamente agli strati direttamente interagenti con il nuovo rilevato stradale, risultano avere caratteristiche geo-meccaniche buone, inoltre l'assetto idraulico e idrogeologico non evidenzia particolari condizioni di pericolo se non leggeri flussi di ruscellamento superficiale in occasione di eventi meteorici importanti; ragion per cui dal punto di vista Geologico e Geotecnico non esistono controindicazioni alcuna alla realizzazione del progetto in essere.

Luglio, 2024

I professionisti incaricati

Dott. Geol. Alessandro Piga

Dott. Geol. Roberto Lovico