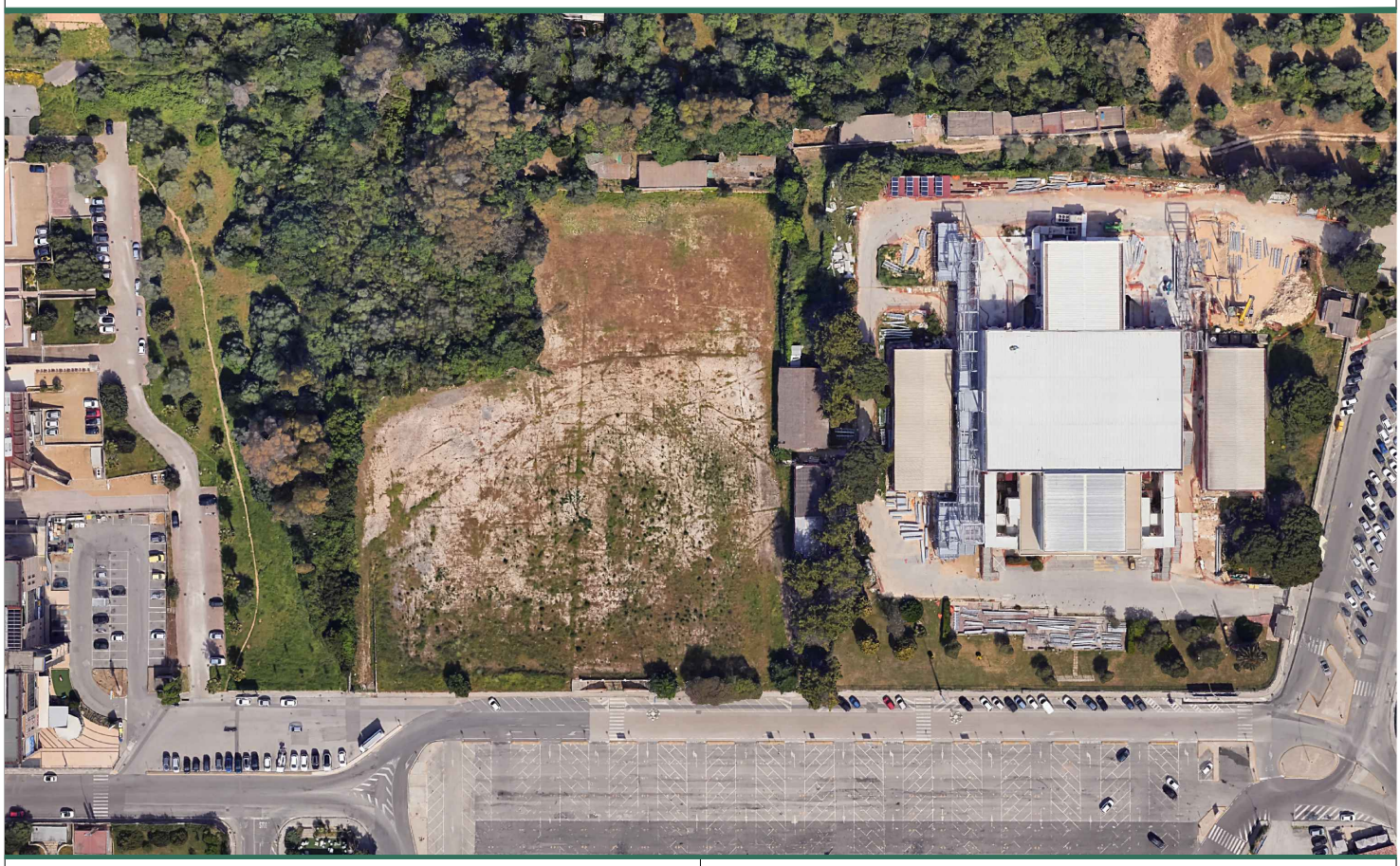
COMUNE DI SASSARI

PUA SEGNI

PIANO URBANISTICO ATTUATIVO DI INIZIATIVA PRIVATA RELATIVO AL COMPARTO G1 DEL PUC IN PIAZZALE SEGNI



PROGETTAZIONE

Studio Solmona S.r.l.
Piazza Italia 34 - 07100 Sassari,
tel. 079231771

Ing. Dario Solmona

COMMITTENTE

ICORT S.r.l. - Nuoro
LOMBARDA COSTRUZIONI S.r.l. - Sassari
TILOCCA S.r.l. - Burgos

RELAZIONE GEOTECNICA

E.00

N. COMMESSA: S209 - 01 - 21

scala:

REV.	DATA	DESCRIZIONE	DISEGNO	CONTROLLO	APPROVAZIONE
00	11.2023	Prima consegna	L.F.	D.S.	R. S.

COMUNE DI SASSARI
Provincia di Sassari

COMMITTENTE:

ICORT S.R.L. – LOMBARDA COSTRUZIONI S.R.L. – TILOCCA COSTRUZIONI S.R.L.

PROGETTO:

P.U.A. Piazzale Segni a Sassari – Comparto G1 del P.U.C. di Sassari

ELABORATI:

RELAZIONE GEOTECNICA

Data di esecuzione: NOVEMBRE 2023

IL CONSULENTE GEOLOGICO E GEOTECNICO

GEODES - Studio geologico e geotecnico
Dott. Geol. Andrea De Santis
Via Francesco Guarino n°4 – 07100 Sassari
E-mail: studio.geodes@gmail.com

ORDINE DEI GEOLOGI
REGIONE SARDEGNA
SEZIONE A
N. 235 Dott. Geol. ANDREA DE SANTIS

SOMMARIO

COMMITTENTE DEI LAVORI 4
LAVORI IN PROGETTO 4
PREMESSA 4
RIFERIMENTI NORMATIVI DI LEGGE 4
UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO 5
PROGRAMMA DEI LAVORI D'INDAGINE GEOGNOSTICA 6
ANALISI DEL QUADRO VINCOLISTICO (LEGGE 64/74 E P.A.I. SARDEGNA) 7
INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DEL TERRITORIO DI SASSARI 9
STRATIGRAFIA DELL'AREA 11
STRATIGRAFIA DELL'AREA d'intervento 13
MORFOLOGIA ED IDROGRAFIA DELL'AREA 17
ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA 17
Definizione della sismicità storica del territorio 17
Stazioni sismiche della Rete IV INGV 21
Caratterizzazione sismogenetica 21
DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE 22
Analisi della Pericolosità Sismica di Base (PSB) 22
Elementi di calcolo per la valutazione della PSB 22
Valutazione dell'azione sismica di progetto 24
Definizione degli stati limite ultimo (SLU) e di esercizio (SLE) in funzione dell'azione sismica 24
Calcolo del Tempo di Riferimento (TR) dell'azione sismica 25
Categorie sismiche di sottosuolo 25
DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (PSB) E DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL) 28
Premessa 28
Localizzazione sito 28
Azione sismica 29
Pericolosità sismica di base 30
PREMESSA ALL'ANALISI GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE 33
MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE 33
DETERMINAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DEL TERRENO DI FONDAZIONE E DELLA DISTRIBUZIONE DELLE TENSIONI NEL SOTTOSUOLO 33
DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI 34
Peso di volume 34
Valore di resistenza a compressione (c0) e Indice di resistenza (Is) 34
CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO 36

CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI *38*
CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE *39*
Caratteri morfologici ed idrografici *39*
Successione stratigrafica *39*
Modello geologico dell'area *39*
Definizione della pericolosità e del rischio geomorfologico dell'area *39*
Definizione della Pericolosità Sismica di Base (PSB) e della Risposta Sismica Locale (RSL) *39*
Modello geotecnico del terreno di fondazione *39*
Verifiche geotecniche *39*

COMMITTENTE DEI LAVORI

ICORT S.R.L. – LOMBARDA COSTRUZIONI S.R.L. – TILOCCA COSTRUZIONI S.R.L..

LAVORI IN PROGETTO

I lavori in progetto riguardano il progetto per il "P.U.A. Piazzale Segni a Sassari – Comparto G1.6 del P.U.C. di Sassari". Il progetto è stato redatto dall'Ing. Dario Solmona di Sassari.

PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Andrea De Santis, geologo libero professionista, iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione Sardegna con il n°235, su incarico della Pregiatissima Committenza, ha redatto il presente studio geotecnico dell'area e dei terreni di fondazione interessati dalla realizzazione di un intervento edilizio in un'area adiacente al Piazzale Segni, nell'abitato di Sassari.
Il lavoro è stato sviluppato attraverso:

- la raccolta dei numerosi dati derivanti da precedenti lavori, eseguiti in diretta prossimità o nelle immediate vicinanze dell'area d'intervento;
- il rilevamento geologico per la ricostruzione della stratigrafia e la verifica dei terreni di fondazione, attraverso l'esecuzione di un sopralluogo diretto nell'area d'intervento;
- la realizzazione di un'indagine geognostica finalizzata alla ricostruzione della serie stratigrafica dell'area ed alla verifica dello stato di consistenza dei terreni presenti in sito;
- la parametrizzazione geotecnica delle unità litologiche presenti, derivata dalle numerose prove di laboratorio già eseguite in corrispondenza dell'unità calcarenitica che costituisce il terreno di fondazione e dalla realizzazione di prove Point Load Test.

La presente **relazione geotecnica**, in accordo con quanto previsto nel D.M. 14.01.2008 (NTC 2008) e nel D.M. LL.PP. n°47 del 11.03.1988, ha verificato:

- la localizzazione dell'area interessata dall'intervento;
- i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate con motivato giudizio sulla affidabilità dei risultati ottenuti;
- la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche dell'opera;
- la caratterizzazione geotecnica del sottosuolo in relazione alle finalità da raggiungere con il progetto, effettuata sulla base dei dati raccolti con le indagini eseguite;
- il dimensionamento del manufatto o dell'intervento;
- i risultati dei calcoli geotecnici (determinazione del carico ammissibile e, se necessario, dei cedimenti) realizzati sulla base dei procedimenti della meccanica delle terre e della Ingegneria delle fondazioni.

RIFERIMENTI NORMATIVI DI LEGGE

Per la redazione dello studio geologico e geotecnico si è fatto riferimento alla seguente base normativa:

- D.M. 14.01.2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Decreto Assessore LL.PP. della Regione Autonoma della Sardegna del 21/02/2005 n. 3;
- DPCM 29/09/98 - Atto di indirizzo e coordinamento per l'individuazione dei criteri relativi

agli adempimenti di cui all'art. 1, commi 1 e 2, del decreto-legge 11 giugno 1998, n.180;

- Legge 267 del 03/08/1998 "Individuazione e perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico e delle relative misure di salvaguardia";
- Legge 109/94 e D.P.R. 554/99 in materia di lavori pubblici;
- D.M. LL.PP. n°47 del 11/03/1988 recante "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";
- C.M. LL.PP. n°30483 del 24/09/88 recante "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. Istruzioni per l'applicazione";
- LEGGE n°64 del 02.02.1974 recante «Provvedimenti per le costruzioni, con particolari prescrizioni per le zone sismiche».

UBICAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO

L'area interessata dagli interventi in esame è ubicata all'interno di un comparto prevalentemente edificato nel Piazzale Segni, nel settore orientale dell'abitato di Sassari.
Nella cartografia I.G.M. in scala 1:25.000, l'area è inserita nel foglio 459 "Sassari" sez.I (fig. 1), mentre nella Cartografia Tecnica Regionale risulta inserita nel foglio 459070 "Sassari" (fig. 2).

Figura 1 - Corografia dell'area d'intervento
(stralcio del foglio 459 "Sassari" sez.I – edito da I.G.M. d'Italia, in scala 1:25.000)

Nel sistema di coordinate Gauss – Boaga il baricentro dell'area in esame è individuato alle seguenti coordinate:

Nord: 4.507.572,7633 **Est: 1.464.804,3111**

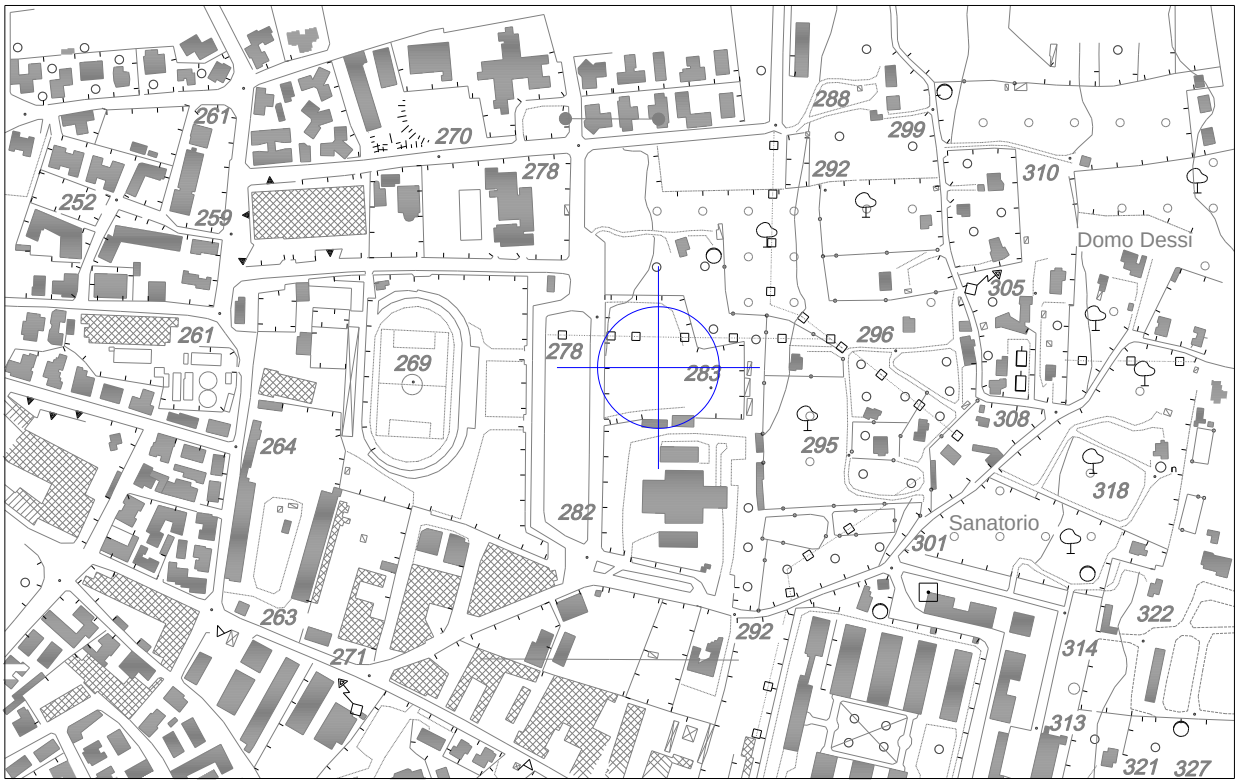


Figura 2 – Inquadramento area nell'abitato di Sassari
(stralcio dei fogli 459070 "Sassari" e 459080 "Laghi Bunnari" - C.T.R. Sardegna - Scala 1:10.000)

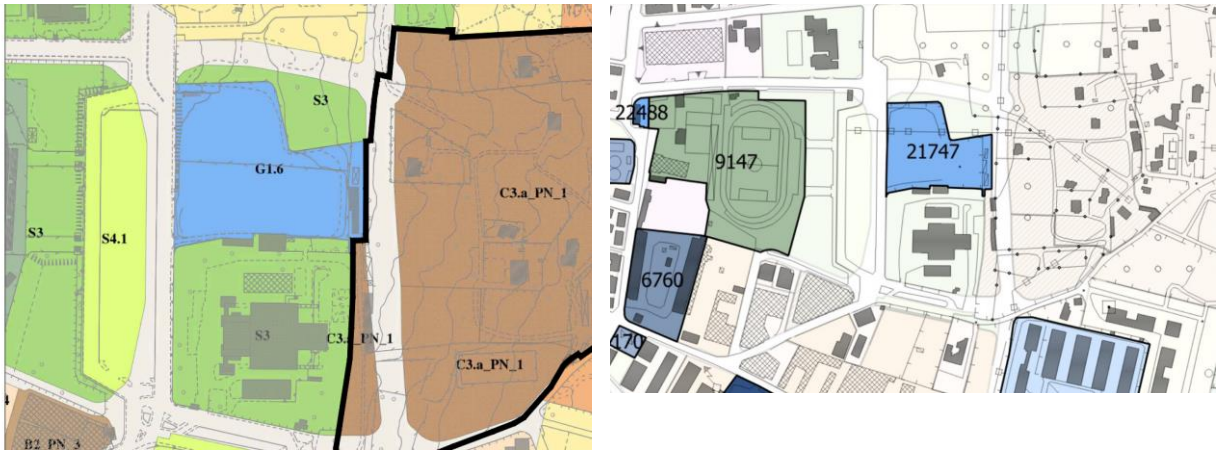


Figura 3 – Inquadramento urbanistico del settore in esame nell'abitato di Sassari
(stralcio della tavola 5.13.1 Servizi Generali a scala territoriale_Città compatta e tavola 5.5.14 Pianificazione urbanistica di progetto dell'ambito urbano - Cartografia del P.U.C. Sassari)

PROGRAMMA DEI LAVORI D'INDAGINE GEOGNOSTICA

L'abitato di Sassari è stato oggetto di numerose campagne di indagini geognostiche, alcune delle

quali sono state eseguite in corrispondenza del settore di studio o in aree immediatamente adiacenti.
I risultati di queste indagini hanno consentito di verificare la continuità di affioramento delle litologie calcarenitiche e calcareo-arenacee della formazione sedimentaria marina carbonatica, di età oligo-miocenica.
Nella figura seguente (fig. 4) si riporta sulla foto aerea (estratta da Google Earth) l'ubicazione dei sondaggi di riferimento (SR) utilizzati per le determinazioni riportate nei paragrafi successivi e il riferimento dell'area in esame (linea rossa) e delle indagini eseguite (S) per la sua caratterizzazione.
Sono stati eseguiti n°3 sondaggi con carotaggio continuo, spinti fino alla profondità di 5 metri dal piano di calpestio attuale, che hanno consentito di verificare la *natura del terreno di fondazione*, costituito dai litotipi calcarenitici a calcareo-marnosi miocenici, e la *continuità verticale dell'ammasso roccioso*, al fine di scongiurare, almeno in corrispondenza delle verticali indagate, la presenza di vuoti e discontinuità di rilievo, derivanti dall'alterazione per "carsismo" delle litologie carbonatiche.

Figura 4 – Ubicazioni delle indagini eseguite (S) e delle indagini di riferimento (SR)
(su aerofoto da Google Eartgh)

ANALISI DEL QUADRO VINCOLISTICO (LEGGE 64/74 E P.A.I. SARDEGNA)

Al fine di valutare eventuali limitazioni alla fattibilità del progetto ed all'uso del territorio, si è verificato il regime vincolistico proposto dalle principali norme vigenti a tutela del territorio.
Nell'abitato di Sassari gli interventi di edilizia sono soggetti al nulla osta da parte del Servizio del Genio Civile di Sassari, come previsto dalla Legge n° 64 del 02/02/1974, relativamente alla sola area del centro storico. Pertanto, considerando la posizione periferica dell'area, quest'ultima è esente dai succitati vincoli.
Inoltre, è stata verificata la cartografia del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna (PAI), ai sensi della L. 183/1989, del D.L. 180/98 convertito in

L. n. 267/98, modificato dalla L. 226/99, redatto nel Giugno 2003 e aggiornato con D.G.R. n. 54/33 del 30 Dicembre 2004 e con s.m.i..
L'esame cartografico (fig. 5) ha consentito di escludere la presenza, nell'area in esame (riquadro rosso) di zone di pericolosità geomorfologica per frana (H_g) ed idraulica per piena (H_i).

Figura 5 – Cartografia della pericolosità idraulica e geomorfologica dell'area d'intervento per il P.A.I. Sardegna (da Geoportale Regione Sardegna)

Tale dato è confermato anche dall'analisi della cartografia di dettaglio dello *"Studio di dettaglio e approfondimento del quadro conoscitivo della pericolosità e del rischio da frana nel sub bacino n°3 Coghinas – Mannu –Temo. Progetto di variante generale e di revisione del Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Autonoma della Sardegna (di cui all'Art. 37, comma 1, delle vigenti Norme di Attuazione)" del* 2015 (fig. 6) in cui è possibile verificare l'assenza di zone con pericolosità geomorfologica (tavola 38).

Figura 6 – Carta della pericolosità geomorfologica per frana (da Tavola 38 – Anno 2015)

INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE DEL TERRITORIO DI SASSARI

Il territorio comunale di Sassari ed il suo centro abitato occupano il quadrante nord-occidentale dell'Isola. Questo settore settentrionale, nel periodo tra l'Oligocene superiore ed il Tortoniano(?)-Messiniano, è stato sede di importanti eventi tettonici e di una diffusa attività vulcano-sedimentaria che si è manifestata in diversi bacini, in parte coalescenti, fra loro differenziati in quanto caratterizzati da due differenti orientazioni strutturali e da differenti evoluzioni tettono-sedimentarie.

Tali bacini costituiscono quello che viene tradizionalmente definito come Fossa sarda ("Rift sardo"), interpretata come un lineamento tettonico orientato N-S, che attraversa tutta l'Isola, legato ad un'estensione crostale orientata E-W avvenuta durante la rotazione del Blocco sardo-corso (Oligocene superiore).

Secondo le più recenti interpretazioni i bacini miocenici della Sardegna settentrionale sono contraddistinti da due diverse strutturazioni successive: la prima con fosse orientate prevalentemente N60° (bacini di Chilivani-Berchidda, Anglona, Ottana definiti come Bacini transtensivi aquitaniani, di età Oligocene superiore-Aquitaniano); la seconda con fosse orientate NNW (bacini del Logudoro e di Porto Torres, definiti come Bacini burdigaliani, di età Burdigaliano-Tortoniano(?)-Messiniano). Si tratta dei due bacini che in Cherchi & Montadert (1982) sono definiti come bacini sin-rift e post-rift.

I Bacini transtensivi aquitaniani occupano la porzione più orientale dell'Isola, dove trasgrediscono sul basamento ercinico caratterizzato prevalentemente da granitoidi intrusi in metamorfiti di medio e basso grado. Sono impostati lungo faglie trascorrenti sinistre, orientate N60°, hanno caratteristica forma allungata parallela alle faglie principali ed una successione sedimentaria con sedimenti di ambiente prevalentemente continentale, in genere depositi lacustri, con intercalati prodotti vulcanici e vulcanoclastici, alternati a depositi alluvionali e con associati depositi sintettonici in prossimità delle faglie. Localmente la successione continentale evolve a marina

(zona di Castelsardo e Anglona).
I Bacini burdigaliani sono più recenti, hanno direzione circa NNW ed interessano la parte occidentale della Sardegna settentrionale, dal Golfo dell'Asinara a nord, fino all'altopiano di Campeda, a sud.
Dal punto di vista strutturale si configurano come semi-graben con faglie principali su bordi opposti, connessi da zone di taglio trascorrenti ad orientamento EW che trasferiscono la deformazione estensionale da un fianco all'altro del bacino.
Nella successione stratigrafica è possibile distinguere tre sequenze deposizionali:

Sequenza 1 Burdigaliano superiore – Langhiano;
Sequenza 2 Serravalliano – Tortoniano(?)-Messiniano;
Sequenza 3 Messiniano superiore.

Le prime due sono caratterizzate dal passaggio da depositi clastici di ambiente fluvio-deltizio a depositi carbonatici marini di piattaforma.
La terza sequenza è caratterizzata da depositi clastici grossolani di ambiente fluviale.
L'evoluzione sedimentaria nella Sardegna Settentrionale è caratterizzata da numerosi cicli trasgressivo-regressivi, fra loro alternati.
Durante il Burdigaliano superiore – Langhiano l'innalzamento del livello del mare porta alla deposizione della Sequenza 1, dove, in successione verticale, ai depositi continentali, prevalentemente sabbiosi, seguono depositi marini di piattaforma prossimale (calcari algali) e distale (marne). La caduta del livello del mare nel Langhiano superiore-Serravalliano inferiore è responsabile dell'accentuata erosione dei depositi della Sequenza 1. In questa fase si sviluppano profonde valli incise (100 m). Nel successivo periodo di risalita del livello del mare si deposita la Sequenza 2. Lungo il margine del bacino si sviluppano sistemi deltizi (Ploaghe) mentre, al margine della piattaforma (Florinas) si depositano le sabbie quarzoso-feldspatiche che vanno a colmare le valli precedentemente formatesi.
Nel Serravalliano inferiore, a seguito di un'ulteriore trasgressione, si forma una vasta piattaforma carbonatica.
Nel Messiniano la caduta del livello del mare porta alla formazione, lungo tutto il margine della piattaforma, di numerosi valli incise fra le quali si ricorda il Canyon di Castelsardo a NE del bacino del Logudoro. Una seconda valle incisa si sviluppa a N di Sassari in località Scala Erre ove troviamo traccia dei sedimenti clastici grossolani di origine alluvionale.
Stratigraficamente, il complesso sedimentario miocenico è delimitato al tetto dalle litologie continentali quaternarie, e alla base dalle vulcaniti del ciclo "calcalcalino" oligo-miocenico.
Dal punto di vista morfologico predominano i tipici pianori che caratterizzano il territorio del sassarese con sommità ad andamento tabulare, coincidenti con le superfici di strato, la cui altitudine media in questo settore è di circa 200 m. I pianori sono incisi da valli profonde, impostate lungo direttrici tettoniche con andamento prevalente NW-SE.
Di seguito si riporta lo stralcio della Carta Geologica della Sardegna, in scala 1:200.000, in cui si evidenzia la continuità del substrato carbonatico marino miocenico (9b) nel settore circostante l'abitato di Sassari (fig. 7).

Figura 7 – Schema geologico del territorio circostante l'abitato di Sassari
(stralcio della Carta Geologica della Sardegna – scala 1:200.000)

STRATIGRAFIA DELL'AREA

La successione stratigrafica nell'area in esame, e nell'intero centro abitato di Sassari, è costituita da litologie del complesso sedimentario carbonatico marino, di età miocenica. In particolare, il substrato litoide è caratterizzato dalle facies riferibili alla Formazione calcareo-arenacea del Miocene Medio, in cui prevalgono litotipi calcarei, calcarenitici e calcareo-marnosi.

Le foto successive (foto 1 e 2) mostrano, in corrispondenza di alcuni fronti di scavo esaminati nel settore, le caratteristiche di elevata continuità ed omogeneità dei litotipi che costituiscono la Formazione di Borutta.
Si notano, sul fronte dello scavo, i piani di stratificazione, con immersione verso WNW, che evidenzano l'alternanza fra gli strati calcareo arenacei cementati (biancastri) e le calcareniti debolmente marnose (giallastre).

Foto 1 – Piazzale Segni - Veduta panoramica dello scavo per la preparazione del piano di fondazione

Foto 2 – Via Mastino - Veduta panoramica dello scavo per la preparazione del piano di fondazione del cantiere adiacente l'area d'intervento

L'esame delle stratigrafie dei sondaggi eseguiti all'interno della Formazione di Borutta conferma l'omogeneità e continuità dell'ammasso roccioso; quest'ultima caratteristica è testimoniata anche dall'elevata percentuale di carotaggio ottenuta, prossima al 100%, accompagnata da discreti valori di R.Q.D. (>40%).

Foto 3 – Particolare di due sondaggi eseguiti nel cantiere di Via Mastino adiacente l'area d'intervento

STRATIGRAFIA DELL'AREA D'INTERVENTO

Il settore di Piazzale Segni nell'abitato di Sassari è caratterizzato da una successione stratigrafica in cui si ha la sovrapposizione delle unità litologiche della Formazione di Monte Santo (**NST**) in appoggio sui litotipi calcareo-marnosi e argilloso-marnosi della Formazione delle Marne di Borutta (**RTU**).

Di seguito si riportano le foto e le schede stratigrafiche dei tre sondaggi eseguiti con carotaggio continuo che hanno permesso di ricostruire la successione stratigrafica di dettaglio dell'area d'intervento e, al contempo, di integrare i dati già acquisiti in precedenti indagini relative a interventi edilizi realizzati nel settore.

GEODES
Studio geologico e geotecnico del dott. Andrea De Santis
Via F. Guarino n°4 - 07100 SASSARI
studio.geodes@gmail.com

Committente ICORT S.r.l.	**Operatore** Dott. Geol. Andrea De Santis	**Sondaggio** S_1 - Area su Piazzale Segni - Sassari
Profondità Raggiunta 5.00	**Indagine** Indagine geotecnica	
Quota Ass. P.C.	**Pagina**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Note
0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00		Terreno di riporto con elementi poligenici ed eterometrici in matrice sabbiosa-ghiaiosa	2.10		
2.25, 2.50, 2.75, 3.00, 3.25, 3.50, 3.75, 4.00		Calcare arenaceo-marnoso, biancastro, litoide con intercalazioni argilloso-marnose	4.10		
4.25, 4.50, 4.75		Calcarenite debolmente marnosa, di colore giallo-verdastro, da decementata a debolmente cementata	5.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT

GEODES
Studio geologico e geotecnico del dott. Andrea De Santis
Via F. Guarino n°4 - 07100 SASSARI
studio.geodes@gmail.com

Committente ICORT S.r.l.	**Operatore** Dott. Geol. Andrea De Santis	**Sondaggio** S_2 - Area su Piazzale Segni - Sassari
Profondità Raggiunta 5.00	**Indagine** Indagine geotecnica	
Quota Ass. P.C.	**Pagina**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Note
0.25 0.50 0.75		Terreno di riporto con elementi poligenici ed eterometrici in matrice sabbiosa-ghiaiosa	0.90		
1.00 1.25 1.50 1.75 2.00 2.25 2.50 2.75 3.00 3.25		Calcare arenaceo fortemente degradato ed alterato con terra argillosa marrone scuro di riempimento	3.40		
3.50 3.75 4.00		Ghiaia con ciottoli e sabbia	4.30		
4.25 4.50 4.75		Calcarenite debolmente marnosa, di colore giallo-verdastro, da decementata a debolmente cementata	5.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT

GEODES
Studio geologico e geotecnico del dott. Andrea De Santis
Via F. Guarino n°4 - 07100 SASSARI
studio.geodes@gmail.com

Committente ICORT S.r.l.	**Operatore** Dott. Geol. Andrea De Santis	**Sondaggio** S_3 - Area su Piazzale Segni - Sassari
Profondità Raggiunta 5.00	**Indagine** Indagine geotecnica	
Quota Ass. P.C.	**Pagina**	

Scala [m]	Litologia	Descrizione	Quota	Campioni	Note
		Terreno di riporto con elementi poligenici ed eterometrici in matrice sabbiosa-ghiaiosa	0.30		
0.25		Calcare arenaceo di colore biancastro, stratificato e cementato			
0.50					
0.75					
1.00					
1.25					
1.50					
1.75					
2.00					
2.25					
2.50					
2.75					
3.00					
3.25					
3.50					
3.75					
4.00					
4.25					
4.50					
4.75			5.00		

Campioni: S-Pareti Sottili, O-Osterberg, M-Mazier, R-Rimaneggiato , Rs-Rimaneggiato da SPT

MORFOLOGIA ED IDROGRAFIA DELL'AREA

Il settore di Piazzale Segni è ubicato nel settore orientale dell'abitato di Sassari che è caratterizzato da una morfologia debolmente acclive degradante da Est verso Ovest. Si tratta di un'area interna alla piattaforma carbonatica miocenica su cui si sviluppa con continuità l'abitato di Sassari. Localmente, tale continuità morfologica è interrotta, da repentine variazioni di pendenza, in corrispondenza delle vallate in cui si raccolgono le acque del deflusso superficiale (Valle Eba Giara, Valle del Mascari, Valle del Rio Mannu, Valle del Rosello, etc.).
Nell'area d'intervento, come evidenziato anche dalla cartografia del P.A.I., non si individuano elementi del territorio o elementi morfologici che possano indicare l'esistenza di condizioni di instabilità generale, seppure potenziali, tale da interferire negativamente con l'intervento edificatorio in progetto.
L'esame delle foto aeree sembra escludere anche la presenza di qualsiasi elemento morfologico di origine antropica (fronti o fosse di cava) presenti in altri settori del territorio dell'abitato di Sassari.
Dal punto di vista dell'assetto idrografico, trattandosi di un'area completamente urbanizzata, sono assenti elementi riconducibili a deflussi areali o incanalati delle acque meteoriche che possano interferire con le strutture di fondazione in progetto.
Inoltre, considerando la quota finale dello scavo rappresentato in precedenza (foto 1), approfondito di due livelli dal piano del Piazzale Segni non si attende alcuna presenza di falde idriche sotterranee al di sopra della quota assoluta di 273 m s.l.m..

ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Al fine di verificare le caratteristiche sismiche del territorio in esame si è proceduto, inizialmente, alla determinazione della sismicità storica dell'area mediante la raccolta ed analisi dei dati sismici esistenti con riferimento ai principali database disponibili alla consultazione pubblica.

DEFINIZIONE DELLA SISMICITÀ STORICA DEL TERRITORIO

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.
A tale scopo 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 (Imax) ≥ 5 o con magnitudo (Mw) ≥ 4.0 d'interesse relativi al territorio italiano.
- *DataBase 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 (Imax) ≥ 5 avvenuti nel territorio nazionale e in alcuni paesi confinanti (Francia, Svizzera, Austria, Slovenia e Croazia).

La finestra cronologico-temporale 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 8 è mostrata una mappa delle localizzazioni dei terremoti storici presenti nel catalogo CPTI15 relativi alla regione Sardegna, mentre in figura 9 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 ≤ 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.

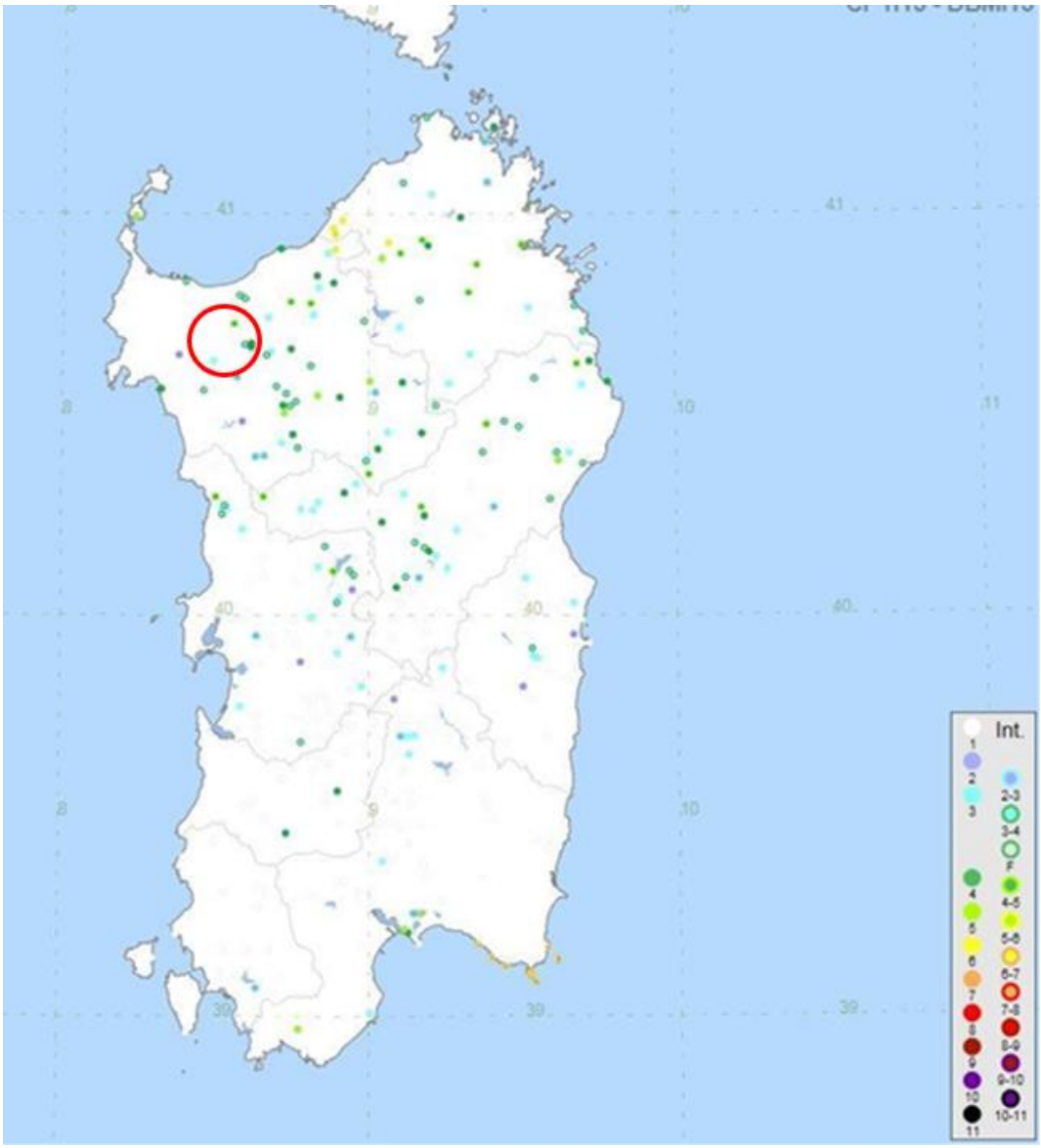


Figura 8 - Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici avvenuti in Sardegna (fonte: catalogo CPTI15, redatti da INGV)

COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti	COMUNE	PROVINCIA	Imax	Terremoti
Aggius	OT	6	2	Gavoi	NU	4	1	Osilo	SS	3	1
Aglientu	OT	3-4	1	Gergei	CA	2-3	1	Osini Nuova	OG	2	1
Aidomaggiore	OR	3-4	1	Ghilarza	OR	3	1	Ossi	SS	3-4	1
Alà dei Sardi	OT	3	3	Giave	SS	4	2	Ottana	NU	4	2
Alghero	SS	4	1	Giba	CI	2-3	1	Ovodda	NU	2-3	1
Arborea	OR	3	1	Girasole	OG	2	1	Ozieri	SS	5	1
Ardara	SS	3-4	1	Ilbono	OG	3	2	Padria	SS	2-3	1
Arzachena	OT	2-3	1	Illorai	SS	4-5	1	Padru	OT	3	2
Arzana	OG	3-4	2	Ittireddu	SS	4	2	Palau	OT	2-3	1
Asinara (Fornelli	SS	5	1	Ittiri	SS	2-3	1	Pattada	SS	4	2
Austis	NU	4	1	La Maddalena	OT	4	2	Perfugas	SS	4	1
Badesi	OT	6	1	Laerru	SS	3	1	Ploaghe	SS	4	1
Banari	SS	3-4	1	Lei	NU	4	1	Porto Torres	SS	3-4	1
Baunei	OG	3	3	Loculi	NU	3-4	3	Posada	NU	4	1
Benetutti	SS	4	2	Lodè	NU	3-4	2	Pozzomaggiore	SS	2-3	1
Berchidda	OT	3-4	2	Lodine	NU	3	1	Pula	CA	3	2
Bessude	SS	3-4	1	Lula	NU	3-4	2	Putifigari	SS	3-4	1
Bidonì	OR	3-4	1	Luogosanto	OT	3	1	Romana	SS	2	1
Birori	NU	3	1	Luras	OT	4-5	1	Ruinas	OR	3	1
Bitti	NU	4-5	3	Macomer	NU	3	1	Samugheo	OR	2-3	1
Bolotana	NU	3	1	Magomadas	OR	3	1	San Teodoro	OT	3-4	2
Bonnanaro	SS	3-4	1	Mamoiada	NU	3	3	Sanluri	VS	4	1
Bono	SS	4	1	Mandas	CA	3	2	Sant'Antonio	OT	4	1
Bonorva	SS	3-4	1	Martis	SS	4-5	1	Santa Lucia	NU	4	1
Bortigali	NU	3	1	Modolo	OR	3-4	1	Santa Maria Coghinas	SS	3	1
Bortigiadas	OT	5	1	Mogoro	OR	3-4	1	Santa Teresa Gallura	OT	3-4	2
Borutta	SS	3-4	1	Monastir	CA	3	1	Sassari	SS	4-5	4
Bosa	OR	4-5	1	Monserrato	CA	2-3	1	Scano di Montiferru	OR	3	1
Buddusò	OT	3	3	Monti	OT	4-5	2	Sennori	SS	3-4	1
Budoni	OT	3-4	2	Mores	SS	5	1	Serri	CA	3	1
Bultei	SS	3	2	Muntiggioni	OT	5-6	1	Seulo	CA	3	1
Bulzi	SS	4	2	Muros	SS	4	1	Siamaggiore	OR	2-3	1
Burgos	SS	3	1	Neoneli	OR	2	1	Sindia	NU	4-5	1
Busachi	OR	3-4	1	Nughedu di San Nicolò	SS	2-3	1	Siniscola	NU	3	1
Cagliari	CA	5	6	Nughedu Santa Vittoria	OR	3-4	1	Sorso	SS	3-4	1
Calangianus	OT	4	1	Nulvi	SS	4-5	1	Tadasuni	OR	4-5	1
Cargeghe	SS	4	1	Nurallao	CA	2	1	Telti	OT	4-5	1
Castelsardo	SS	4	2	Nureci	OR	3	1	Tempio Pausania	OT	4-5	1
Cheremule	SS	5	2	Olbia	OT	4-5	1	Teti	NU	3-4	1
Chiaramonti	SS	3	1	Oliena	NU	2-3	3	Teulada	CA	5	2
Codrongianos	SS	3	1	Ollolai	NU	3-4	1	Thiesi	SS	4	1
Convento di Bonannaro	CA	4	1	Olmedo	SS	2	1	Torpè	NU	4-5	3
Cossoine	SS	3	1	Olzai	NU	3-4	2	Tresnuraghes	OR	3-4	1
Dorgali	NU	3-4	2	Onanì	NU	3-4	1	Trinità d'Agultu e Vignola	OT	6	1
Elini	OG	3	1	Onifai	NU	3	2	Tula	SS	3-4	1
Escolca	CA	3	1	Oniferi	NU	4-5	2	Ulà Tirso	OR	3	1
Esporlatu	SS	3-4	1	Orani	NU	4	2	Uri	SS	3	1
Florinas	SS	3-4	2	Orosei	NU	3-4	3	Urzulei	OG	3	3
Flussio	OR	3	1	Orotelli	NU	3	2	Viddalba	SS	6	1
Fonni	NU	3	2	Orune	NU	3-4	1	Villacidro	VS	4	1
Fordongianus	OR	3	1	Oschiri	OT	3	2	Villaurbana	OR	2	1
Galtellì	NU	5	3	Osidda	NU	3-4	3				

Figura 9 - Elenco degli eventi sismici riportati nel catalogo CPTI15 relativi alla Regione Sardegna

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 10 è mostrata la distribuzione degli eventi sismici presenti nell'intero DBMI15, in particolare si nota come nell'area di interesse (cfr. ellisse rosso) sono presenti un esiguo numero di eventi sismici nell'intervallo di definizione del catalogo, sempre caratterizzati da intensità e magnitudo modeste (colorazione verde).

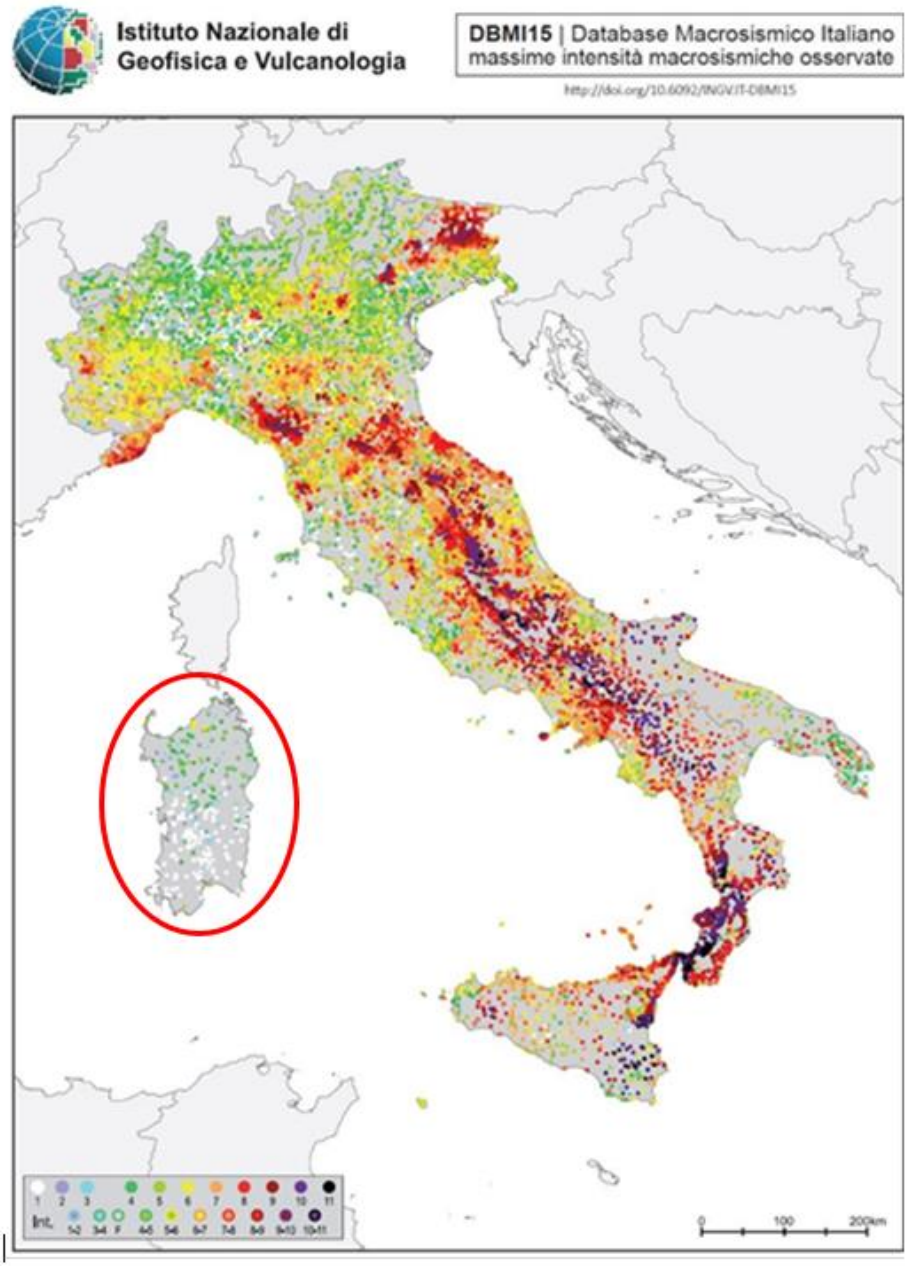


Figura 10 - Mappa con la localizzazione degli epicentri dei terremoti storici italiani riportati nel DBMI15 (fonte: INGV)

In conclusione, la distribuzione dei terremoti storici nell'area di interesse del progetto, estratti dal catalogo CPTI15 (fig. 8) e dal database DBMI15 (fig. 10), 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.

Stazioni sismiche della Rete IV INGV

I dati sismici prodotti ed elaborati dall'INGV sono basati sulle misurazioni rilevate nelle stazioni sismiche distribuite nel territorio nazionale in funzione della pericolosità sismica riscontrata. La rete di riferimento per le rilevazioni sismiche è la Rete sismica IV e la stazione di riferimento più vicina è quella di Aglientu (fig. 11), denominata con codice AGLI rappresentata nel seguente stralcio cartografico.

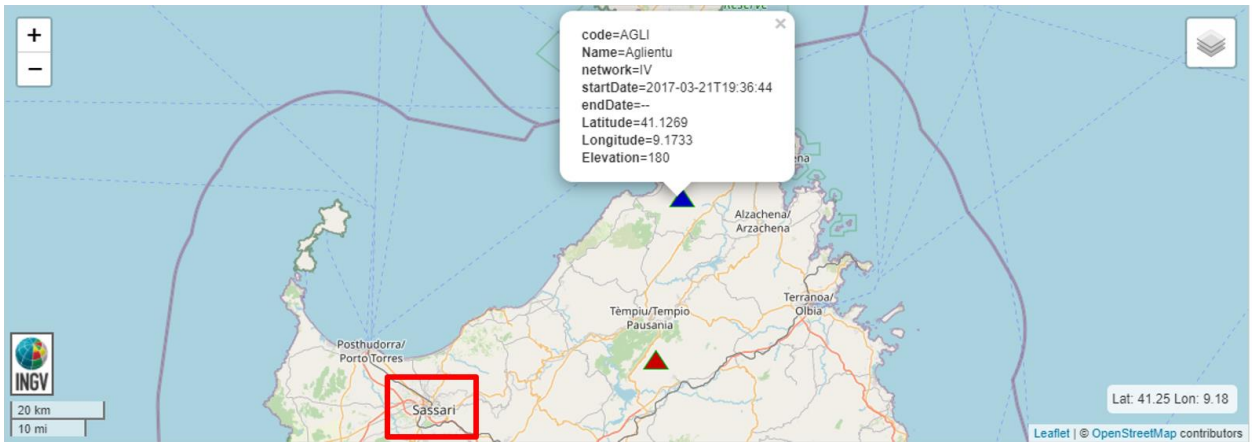


Figura 11 - Ubicazione cartografica della stazione sismica di Aglientu (Rete Sismica IV – INGV[1])

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 la regione interessata dai tracciati in progetto non è caratterizzata da nessuna area sorgente di particolare rilievo.

Studi più recenti per la valutazione del rischio sismico e 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.

Il documento "Task 1 - Completamento delle elaborazioni relative a MPS04 - Deliverable D1 Valutazione standard (10%, 475 anni) di amax (16mo, 50mo, e 84mo percentile) per le isole rimaste escluse nella fase di redazione di MPS04" redatto a cura di M.Stucchi, C. Meletti, V. Montaldo et alii dell'INGV - Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, riporta la mappatura del parametro "a_{max}" ovvero dell'accelerazione sismica massima.

[1] INGV Seismological Data Centre. (2006, January 1). Rete Sismica Nazionale (RSN). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Italy. https://doi.org/10.13127/SD/X0FXNH7QFY.

La Sardegna è indicata come un caso a sé stante per la quale, tenendo conto che la sismicità è bassa, anche a livello strumentale, e che i dati storici non segnalano danni significativi, si ritiene ragionevole assumere per l'intero territorio un valore di default a_{max} = 0.050 g.
Si riporta di seguito (fig. 12) uno stralcio della tabella 12 del testo originario in cui si riassumono i valori dei principali parametri sismici analizzati per l'Isola.

1	2	5	6	8	9	12	13
N. nodo	*Località*	*Prop. di riclass. (1998)*	*amax in MPS04 50mo (g)*	*Zona sismica secondo OPCM 3274*	*Valore di ancoraggio secondo OPCM 3274*	***Valore di amax adottato (g)***	***Spettro suggerito***
	Sardegna Nord	NC	<0.025	4	0.05	**0.05**	**zona 4**
	Sardegna Sud	NC	<0.025	4	0.05	**0.05**	**zona 4**

Figura 12 - Riepilogo dei dati relativi alle isole: valori di a_{max} proposti da MPS04, da questo studio, e valori finali adottati; spettri suggeriti (cfr. tabella 12 testo originale – Stucchi et al. 2007)

Nel 2012 si è proceduto ad un aggiornamento della mappa del rischio e della pericolosità sismica e vulcanica e sono stati emanati i criteri per la nuova classificazione sismica del territorio nazionale. **Tutti i comuni della Sardegna sono classificati in zona 4 (a sismicità bassa).**

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La valutazione della sismicità del territorio in esame è espressa, in prima battuta, dalla determinazione della Pericolosità Sismica di Base (o di sito).

ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (PSB)

A partire dal D.M. 14/01/2008 (NTC2008) è stato introdotto il concetto di PSB in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.
La PSB è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa $\mathbf{a_g}$ in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $\mathbf{S_e}$(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza $\mathbf{P_{VR}}$ come definite nel § 3.2.1, nel periodo di riferimento $\mathbf{V_R}$, come definito nel § 2.4. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

ELEMENTI DI CALCOLO PER LA VALUTAZIONE DELLA PSB

La PSB costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e agli impianti connessi.
Per la valutazione della PSB le NTC2018 definiscono le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento **P** nel periodo di riferimento $\mathbf{V_R}$, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

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

T_c^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per la determinazione dei suddetti parametri (a_g, F_o e T_c^*), necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n. 29, ed eventuali successivi aggiornamenti.
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 NTC2018, in accordo con la precedente definizione del 2008 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 (Tabella A1 delle NNTC 2008; http://esse1.mi.ingv.it/).
Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno (Tr) considerati dalla pericolosità sismica, sono forniti tre parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto:

- ***a_g*** *accelerazione orizzontale massima attesa al bedrock con superficie topografica orizzontale (espressa in g/10);*
- ***Fo*** *valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;*
- ***Tc**** *periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale (espresso in s).*

Da un punto di vista normativo, pertanto, la PSB di un sito dipende dalla posizione dell'area in cui viene realizzata l'opera di riferimento rispetto ai nodi del suddetto reticolo.
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_o, Tc*) 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.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla PSB del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che de- terminano la risposta sismica locale.
Le NTC 2008 definiscono l'azione sismica considerando un periodo di ritorno (Tr) che è funzione della probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (PVr) nel periodo di riferimento dell'opera (Vr).
Il periodo di riferimento dell'opera (Vr) si ottiene dal prodotto tra la Vita Nominale (Vn), intesa come il numero di anni nel quale l'opera è utilizzata allo scopo a cui è stata destinata, e il Coefficiente d'uso (Cu), funzione della Classe d'uso della costruzione (cfr. paragrafo 2.4.3 delle NTC 2008).

DEFINIZIONE DEGLI STATI LIMITE ULTIMO (SLU) E DI ESERCIZIO (SLE) IN FUNZIONE DELL'AZIONE SISMICA

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

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

Gli STATI LIMITE ULTIMI (SLU) comprendono:

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

nella tabella seguente (fig. 13).

Stati Limite		P_{VR} - Probabilità di superamento del periodo di riferimento V_R
Stato Limite di Esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stato Limite Ultimo	SLV	10%
	SLC	5%

Figura 13 - Probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale al bedrock in funzione dello stato limite considerato (Tabella 3.2.I delle NTC 2008)

Calcolo del Tempo di Riferimento (TR) dell'azione sismica

Per l'area dell'impianto, considerando una categoria di opera ordinaria con vita nominale V_N pari a 50 anni e una Classe d'uso II si ottiene una Vita di Riferimento V_R pari a 100 anni.
Le probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (Pvr) nel periodo di riferimento dell'opera (Vr) sono funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2008).
Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (Tr) per i due stati limite considerati mediante la formula:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - P_V)$$

Categorie sismiche di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3.
In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un **approccio semplificato** che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_S.
I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.
La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) come previsto dalle NTC_2018 (fig. 14).

Categorie di sottosuolo Decreto del 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni
Categoria 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.

Categoria 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.
Categoria 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.
Categoria 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 m/s e 180 m/s.
Categoria E
Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Figura 14 – Categorie di sottosuolo da D.M. 17.01.2018

La norma vigente individua, pertanto, cinque classi di riferimento, in funzione della natura e di specifici parametri di comportamento meccanico dei terreni. Tale comportamento induce modifiche sul segnale sismico con variazioni dell'accelerazione di picco e del contenuto in frequenza.
Per la determinazione delle velocità di propagazione delle onde sismiche si fa riferimento ai risultati ottenuti dall'esecuzione di numerose prove M.A.S.W. eseguite nell'abitato di Sassari.
Sulla base delle velocità misurate è stato definito un valore delle $Vs_{30,eq}$ compreso nell'intervallo di valori 518÷732 m/s, pertanto compreso entro l'intervallo di velocità 360÷800 m/s, per cui il terreno di fondazione appartiene ad una categoria sismica del **tipo B**, così definita ai sensi delle NTC 2018:
"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".

Una volta così definita la categoria sismica del terreno di possono utilizzare i valori riportati nella tabella 3.2.V (NTC2018) per la definizione dei parametri (fig. 15):

- Ss Coefficiente di amplificazione stratigrafica (necessario per calcolare l'accelerazione di picco al suolo (**a_{gS}** o **PGA**);
- Cc Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo Cc, necessario per il calcolo del periodo TC e quindi della velocità orizzontale massima attesa al suolo (**V_g** o **PGV**).

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \le 1{,}40 - 0{,}40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}20$	$1{,}10 \cdot (T_C^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \le 1{,}70 - 0{,}60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}50$	$1{,}05 \cdot (T_C^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \le 2{,}40 - 1{,}50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}80$	$1{,}25 \cdot (T_C^*)^{-0{,}50}$
E	$1{,}00 \le 2{,}00 - 1{,}10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \le 1{,}60$	$1{,}15 \cdot (T_C^*)^{-0{,}40}$

Figura 15 - Definizione dei parametri sismici **S_S** e **C_C** (NTC2018 - Tabella 3.2.IV)

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella tabella 3.2.V delle NTC2018 (fig. 16).

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o 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°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

Figura 16 – Valori del Coefficiente di amplificazione topografica **S_T** (da Tabella 3.2.V - D.M. 17.01.2018)

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.
Il coefficiente di amplificazione topografica S_T e il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).
La stima dell'accelerazione di picco in superficie a_{gS} (PGA) lungo il tracciato si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale (S) e l'accelerazione orizzontale massima attesa al suolo rigido ag:

$$a_{gS} = a_g \times S$$

Il coefficiente S, che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s \times S_T$$

in cui S_S è il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T è il coefficiente di amplificazione topografica.

DETERMINAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (PSB) E DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

PREMESSA

La normativa italiana, come del resto la normativa europea e i più recenti codici internazionali, ha modificato l'approccio alla valutazione della sismicità di un'area. Per la suddetta valutazione si procede a partire dall'osservazione del fenomeno sismico "*dal basso*" e "*a priori*":

- *dal basso* poiché si osserva direttamente il moto sismico nel suo propagarsi dal sottosuolo (bedrock) verso la superficie libera;
- *a priori* poiché la pericolosità sismica di base tiene conto esclusivamente del movimento sismico atteso (accelerazioni), prima che esso produca i suoi effetti sull'ambiente fisico e costruito.

In definitiva, identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido (bedrock), è necessario valutare la loro variazione (in generale amplificazione) negli strati più superficiali (risposta sismica locale).
Le norme di riferimento (NTC 2008) definiscono la risposta sismica locale (S) di un sito attraverso la stima di due parametri:

- Categoria di Sottosuolo;
- Condizione Topografica.

Di seguito si riporta la verifica di calcolo per la determinazione della Risposta Sismica Locale RSL) nell'area in esame all'interno dell'abitato di Sassari (SS).

LOCALIZZAZIONE SITO

Per la valutazione della Risposta Sismica Locale si è proceduto alla localizzazione del sito al fine di verificare l'eventuale esistenza di nodi della rete sismica nazionale cui potersi riferire per la misura dei parametri sismici di calcolo.

Descrizione sito : Piazza Antonio Segni 9, 07100 Sassari, Italy
Coordinate del sito

- Latitudine (WGS84) : 40°.7182
- Longitudine (WGS84) : 8°.5829
- Latitudine (ED50) : 40°.7193
- Longitudine (ED50) : 8°.5839
- Altezza s.l.m. : 283.00 m

Sito: Piazza Antonio Segni 9, 07100 Sassari Sassari, Italy - **Coordinate sito (Datum ED50):** Longitudine = 8.5839°; Latitudine = 40.7193°; Altitudine = 283.00 metri s.l.m.
Valori dei parametri ag, Fo, Tc* per i periodi di ritorno TR associati a ciascun Stato Limite:

Stato Limite	TR [anni]	ag [g]	Fo	Tc* [s]
SLO	30	0.019	2.610	0.273
SLD	50	0.024	2.670	0.296
SLV	475	0.050	2.880	0.340
SLC	975	0.060	2.980	0.372
Vita di riferimento Vr per l'azione sismica = 50				

AZIONE SISMICA

La valutazione delle azioni sismiche sulle strutture viene condotta in relazione ad un periodo di riferimento c che si ricava moltiplicando la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U (§2.4.3 NTC 2018).

Nel caso specifico risulta:

V_N = 50 anni (Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale)

C_U = 1.0 anni (Classe d'uso II §2.4.2 NTC 2018)

V_R = 50 anni

Gli stati limite nei confronti dell'azione sismica, in relazione alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, si dividono in:

Stati limite di esercizio

Stato Limite di Operatività (***SLO***);
Stato Limite di Danno (***SLD***).

Stati limite ultimi

Stato Limite di salvaguardia della Vita (***SLV***);
Stato Limite di prevenzione del Collasso (***SLC***).

Per ciascuno degli stati limite considerati viene associata una probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} (Tab. 3.2.I. NTC 2018).
Per ogni valore di P_{V_R} viene calcolato il periodo di ritorno medio T_R di un evento avente quell'entità attraverso la seguente relazione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln\,(1 - P_{V_R})}$$

i valori così ottenuti vengono riportati nella seguente tabella:

Stato limite	$\boldsymbol{P_{V_R}}$[%]	$\boldsymbol{T_R}$[anni]
SLO	81	30
SLD	63	50
SLV	10	475
SLC	5	975

PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

L'elemento di conoscenza primario per la valutazione delle azioni sismiche in un determinato sito è rappresentato dalla "pericolosità sismica di base". Questa viene espressa, per ogni stato limite, in funzione della probabilità di superamento P_{V_R} in termini di spettro di risposta in accelerazione per un suolo di categoria ***A***.

I parametri che identificano la pericolosità sismica di base sono:

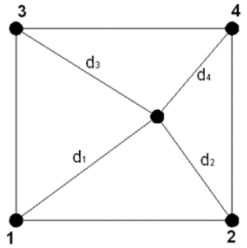
- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono forniti dalla norma (NTC 2018), per diversi periodi di ritorno T_R, su tutto il territorio nazionale in un numero di punti che definiscono un reticolo di riferimento. Pertanto, per ogni punto del territorio nazionale è possibile individuare quattro punti del reticolo in modo da definire una maglia. I parametri sismici di tale punto si ottengono da quelli della maglia attraverso la seguente relazione:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^{4} \frac{p_i}{d_i}}{\sum_{i=1}^{4} \frac{1}{d_i}}$$

dove:

- p : generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) da calcolare per il punto oggetto di studio;
- d_i : distanza tra il punto oggetto di studio e l'i-esimo punto della maglia;
- p_i : valore del generico parametro (a_g, F_0, T_C^*) nell'i-esimo punto della maglia.



Nel caso specifico si ha:

Coordinate del sito

- Latitudine (ED50): 40°.7193
- Longitudine (ED50): 8°.5839

	Parametri dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	**SLC**	**SLD**	**SLO**
Tempo di ritorno [anni]	475	975	50	30
Accelerazione sismica [g]	0.05	0.06	0.024	0.019
Coefficiente Fo	2.88	2.98	2.67	2.61
Periodo T_C*[sec]	0.34	0.372	0.296	0.273

Una volta valutati i parametri che definiscono la pericolosità sismica di base è possibile calcolare le ordinate spettrali degli spettri di risposta in accelerazione mediante le seguenti relazioni:

$$0 \leq T < T_B \qquad S_e(T) = a_g\, F_0 \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{F_0}\left(1 - \frac{T}{T_B}\right)\right]$$

$$T_B \leq T < T_C \qquad S_e(T) = a_g\, F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \qquad S_e(T) = a_g\, F_0 \left(\frac{T_C}{T}\right)$$

$$T_D \leq T \qquad S_e(T) = a_g\, F_0 \left(\frac{T_C\, T_D}{T^2}\right)$$

Dove:

F_0 : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2.2;

T_C : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro

$$T_C = T_C^*$$

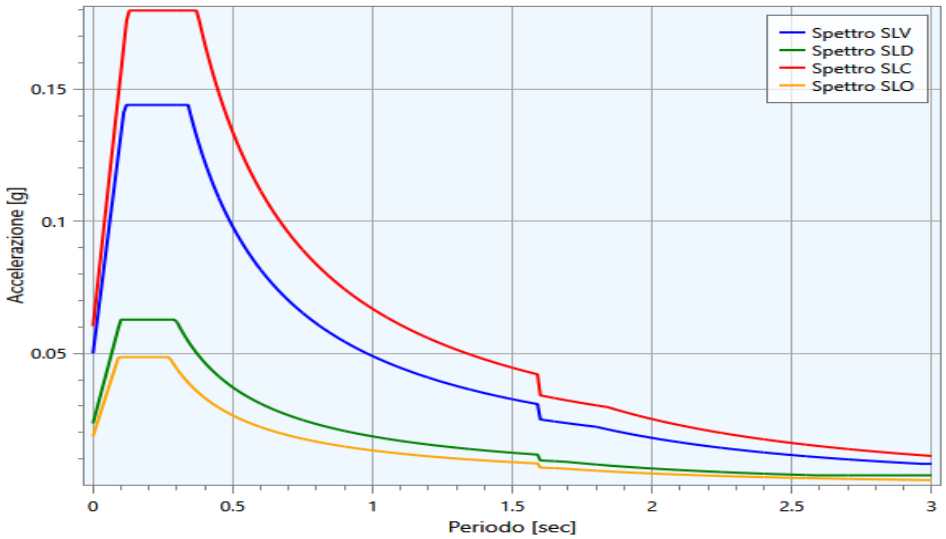
T_B : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$$T_B = \frac{T_C}{3}$$

T_D : è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione:

$$T_D = 4.0\, \frac{a_g}{g} + 1.6$$

Le forme spettrali così valutate vengono riportate per ogni stato limite nella figura seguente.



	Periodi caratteristici dello spettro di risposta orizzontale			
	SLV	**SLC**	**SLD**	**SLO**
$T_B[sec]$	0.113	0.124	0.099	0.091
$T_C[sec]$	0.34	0.372	0.296	0.273
$T_D[sec]$	1.80	1.841	1.694	1.674
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00

	Periodi caratteristici dello spettro di risposta verticale			
	SLV	**SLC**	**SLD**	**SLO**
$T_B[sec]$	0.05	0.05	0.05	0.05
$T_C[sec]$	0.15	0.15	0.15	0.15
$T_D[sec]$	1.00	1.00	1.00	1.00
C_C	1.00	1.00	1.00	1.00

PREMESSA ALL'ANALISI GEOTECNICA DEI TERRENI DI FONDAZIONE

L'analisi geotecnica è finalizzata alla determinazione delle proprietà geotecniche e geomeccaniche del terreno di fondazione relativamente alla porzione direttamente interessata dalle sollecitazioni derivanti dal nuovo stato tensionale indotto dalle opere in progetto.
Pertanto, dopo aver definito il modello geologico dell'area, si è proceduto alla parametrizzazione geotecnica-geomeccanica dell'ammasso roccioso calcarenitico, che costituisce il terreno di fondazione, al fine di poter prevedere la risposta del terreno rispetto al nuovo stato tensionale derivante dalla realizzazione dell'intervento progettuale.

MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Sulla base delle verifiche stratigrafiche e litologiche riportate nella prima sezione del presente elaborato, relativa allo studio geologico dell'area, in corrispondenza del perimetro di fondazione delle strutture, è stata evidenziata una condizione di elevata omogeneità nella distribuzione in senso verticale (spessori) delle unità litologiche distinte.
Il modello geotecnico individuato, pertanto, è del tipo "monostrato", costituito da un ammasso roccioso con alternanza di livelli calcarenitici e di calcari arenaceo-marnosi, che si sviluppa per profondità decametriche.

DETERMINAZIONE DEL VOLUME SIGNIFICATIVO DEL TERRENO DI FONDAZIONE E DELLA DISTRIBUZIONE DELLE TENSIONI NEL SOTTOSUOLO

Per la determinazione dello spessore del terreno di fondazione interessato dalla distribuzione delle tensioni applicate in superficie ("volume significativo"), in accordo con quanto stabilito dall'A.G.I. (1977) e proposto da diversi Autori, si è scelta la profondità alla quale la pressione sul terreno (p_1) è inferiore al 10% di quella applicata in superficie (p_0). La distribuzione delle tensioni nel sottosuolo è ricavata dall'applicazione della formulazione proposta da Boussinesq. Di seguito si riporta la rappresentazione grafica del bulbo delle tensioni relativamente a fondazioni isolate a pianta quadrata (fig. 17).
Ad esempio, considerando una fondazione superficiale isolata, su plinto a pianta quadrata, con lato di 2 m, si ottiene una profondità del volume significativo pari ad un massimo di circa 4.4 m dal piano di appoggio della fondazione.
Pertanto, in considerazione dello schema stratigrafico riportato in precedenza e del modello geotecnico sopra definito, si può affermare che il bulbo delle tensioni interesserà esclusivamente le litologie dell'unità calcarenitica litoide.

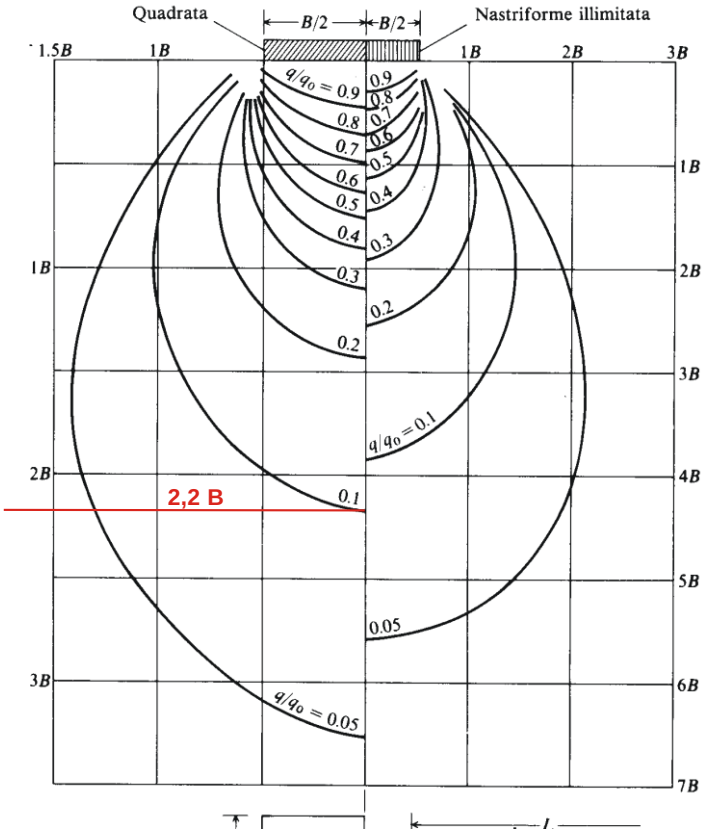


Figura 17 - Distribuzione delle tensioni nel sottosuolo per fondazione quadrata

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

La presenza di un basamento di fondazione costituito da terreni litoidi comporta la necessità di procedere ad una valutazione delle caratteristiche geomeccaniche che, a partire dalla scala del singolo campione, consentano di determinare il comportamento dell'intero ammasso roccioso.
I dati di resistenza meccanica, ottenuti per i singoli provini attraverso il Point Load Test, vengono pertanto riferiti all'ammasso roccioso, le cui condizioni strutturali (giacitura, alterazione, fratturazione, etc.) sono esaminate attraverso i sondaggi (attraverso la misrua dell'Indice R.Q.D.) e dalla verifica dei fronti di sbancamento esistenti.
Con riferimento ai numerosi dati disponibili relativi all'analisi delle proprietà geotecniche dell'ammasso roccioso carbonatico, che costituisce il terreno di fondazione in corrispondenza della zona interessata dall'intervento in progetto, si riportano le principali indicazioni e valutazioni emerse in precedenti lavori, alcuni dei quali eseguiti proprio in prossimità dell'area in oggetto.

PESO DI VOLUME

Le prove di laboratorio eseguite per la determinazione del peso di volume naturale del terreno hanno consentito di ricavare un valore rappresentativo compreso nell'intervallo 20÷21 kN/mc.
I valori più bassi sono da riferire alle porzioni dell'ammasso meno cementate, con presenza di vacuoli in corrispondenza dei livelli con maggiore componente organogena.

VALORE DI RESISTENZA A COMPRESSIONE (C0) E INDICE DI RESISTENZA (IS)

Per la parametrizzazione geomeccanica delle litologie costituenti il substrato di fondazione sono

stati utilizzati i dati ricavati dall'esecuzione di prove di laboratorio (Point Load Test, prove di compressione uniassiale) eseguite in precedenti lavori su numerosi campioni di litologie analoghe a quelle presenti nell'area di studio.
Per l'esecuzione della prova Point Load è stato fatto riferimento alle specifiche tecniche previste nella "Raccomandazioni ISRM per la misura della resistenza al punzonamento.[2]
La prova Point Load fornisce un valore dell'indice di resistenza [I_s] della roccia che viene successivamente normalizzato per riferirlo ad una dimensione standard del provino pari a 50 mm [$I_s(50)$]. Inoltre, tale valore normalizzato può essere utilizzato per effettuare ulteriori correlazioni con la resistenza a trazione e a compressione uniassiale della roccia.
Nella tabella seguente (fig. 18) si riporta, a riepilogo delle prove effettuate, il valore medio della resistenza alla compressione semplice ottenuto per correlazione con il valore della resistenza al punzonamento corretto $I_s(50)$ derivante dalle prove Point Load.

Descrizione litologica	Resistenza compressione semplice Co (MPa)
Calcarenite mediamente cementata, di colore giallastro	7÷14.5
Calcarenite debolmente marnosa, giallo-grigiastra	4.5÷10.5

Figura 18 - Valori di resistenza a compressione di riferimento per rocce calcarenitiche nell'area di Sassari, ricavati per correlazione da Point Load Test

I valori di resistenza a compressione monoassiale (c_0), ottenuti per correlazione con l'Indice di Resistenza (I_s), per la calcarenite in esame, sono compresi entro l'intervallo di valori 7÷14.5 MPa, aumentano con l'aumentare del peso di volume naturale in funzione dell'incremento del grado di cementazione del terreno.
I risultati delle prove di compressione possono essere utilizzati per determinare la posizione dei litotipi nella classifica di DEERE e MILLER, che suddivide le rocce in 5 classi (da A a E) in funzione decrescente della resistenza a compressione (σ < 28,0 MPa). I bassi valori rilevati inquadrano la roccia nella classe E (resistenza estremamente bassa). Non essendo state rilevate le misure delle deformazioni dei provini, nel corso delle prove di compressione, non è possibile procedere ad un'ulteriore suddivisione delle litologie in sottoclassi, basate queste ultime sui valori del modulo di deformazione.
Utilizzando la Franklin Press per la determinazione dell'Indice di resistenza da Point Load Test, è stato possibile analizzare anche il comportamento dei litotipi dal punto di vista dell'influenza della direzione di applicazione del carico rispetto alla stratificazione dei depositi, mediante la valutazione dell'Indice di Anisotropia. Dal rapporto fra la resistenza a compressione ottenuta con direzione di applicazione del carico normale rispetto alla stratificazione (σ_v) e quella ottenuta con direzione di applicazione parallela alla stratificazione (σ_n), sono stati ottenuti valori che si discostano per un 15% dall'unità, a testimonianza della modesta anisotropia di comportamento dell'ammasso roccioso, dovuta alla minore resistenza della roccia lungo la direzione della stratificazione.

[2] INTERNATIONAL SOCIETY FOR ROCK MECHANICS (1972) – Suggested method for determining the point load strength index.

CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO

Si utilizzerà a tale fine la "Geomechanics Classification RMR" di BIENIAWSKI (1989). Questa è basata sull'analisi di 5 parametri caratterizzanti l'ammasso roccioso, la cui determinazione permette di valutare la qualità della roccia mediante la definizione del cosiddetto "Indice RMR". A ciascun parametro esaminato corrisponde un valore indice (R_1, R_2, ..., R_5) la cui somma determina l'indice di qualità dell'ammasso roccioso o indice RMR, che può assumere valori compresi fra 0 e 100.
La classificazione di Bieniawski permette di risalire ai parametri meccanici dell'ammasso roccioso considerato come terreno di fondazione.
Sulla base dell'indice RMR determinato si possono ricavare i parametri di coesione e angolo di attrito interno, sulla base dei vari intervalli proposti (fig. 12).
I parametri e i relativi indici sono i seguenti:

R1 resistenza alla compressione monoassiale o da Point Load Test;

R2 R.Q.D., che rappresenta la percentuale di recupero di campione in un sondaggio;

R3 spaziatura dei giunti;

R4 condizione dei giunti, con particolare attenzione alla loro apertura, rugosità, grado di alterazione e presenza di materiale di riempimento;

R5 condizioni idrauliche.

Considerando i valori di resistenza meccanica a compressione, ottenuti attraverso le prove di laboratorio, le caratteristiche strutturali dell'ammasso, ricavate nel corso dei numerosi sondaggi eseguiti e dall'esame delle pareti del cunicolo-rifugio, e le condizioni idrauliche che caratterizzano l'area ed i litotipi di fondazione, si possono attribuire, ai cinque indici considerati, sulla base della tabella riportata (fig. 10) i seguenti valori:

R1 = 2 (σ_{media} = 5÷25 MPa)

R2 = 8 (R.Q.D.% = 45)

R3 = 15 (spaziatura = 0.6÷2.0 m)

R4 = 30 (discontinuità chiuse non continue)

R5 = 10 (roccia umida)

E, pertanto, si ottiene un indice di qualità dell'ammasso roccioso pari a

INDICE RMR = 65

Utilizzando il valore determinato per l'indice RMR è possibile ottenere la seguente classificazione dell'ammasso roccioso, con i relativi parametri di calcolo:

- Qualità dell'ammasso: Buona (IIª Classe)
- Coesione ..... C = 300÷400 KPa
- Angolo d'attrito..... φ = 35÷45°

TABELLA 1

Parametri		Valori						
Resistenza a compressione uniassiale (MPa)		>250	100-250	100-50	50-25	5-25	1-5	<1
Coefficiente R1		15	12	7	4	2	1	0
R.Q.D. (%)		90-100	75-90	50-75	25-50		<25	
Coefficiente R2		20	17	13	8		3	
Spaziatura delle discontinuità		>2 m	0,6-2 m	60-20 cm	20-6 cm		<6 cm	
Coefficiente R3		20	15	10	8		5	
Condizioni delle discontinuità		Superfici molto rugose, non alterate. Discontinuità chiuse non continue	Superfici poco rugose. Separazione discontinuità < 1 mm. Poco alterate	Superfici poco rugose. Separazione discontinuità < 1 mm. Molto alterate	Superfici lisce o riempimento < 5 mm di spessore o giunti aperti 1-5 mm e continui	Riempimento soffice > 5 mm di spessore o giunti aperti > 5 mm continui		
Coefficiente R4		30	25	20	10	0		
Condizioni idrauliche	Venute d'acqua su 10 m di lunghezza (l/min)	nessuna	<10	10-25	25-125	>125		
	Condizioni generali	Asciutto	Umido	Bagnato	Stillicidio	Venute d'acqua		
Coefficiente R5		15	10	7	4	0		

TABELLA 2

Orientamento discontinuità		Valori				
Direzione di immersione ed inclinazione		Molto favorevole	Favorevole	Poco favorevole	Sfavorevole	Molto sfavorevole
	Gallerie	0	-2	-5	-10	-12
Coefficiente R6	Fondazioni	0	-2	-7	-15	-25
	Pendii	0	-5	-25	-50	-60

TABELLA 3

Classi di qualità dell'ammasso roccioso	Valori				
RMR	100 - 81	80 - 61	60 - 41	40 - 21	< 20
Classe	I	II	III	IV	V
Descrizione	Ottima	Buona	Discreta	Scadente	Molto scadente
Coesione (KPa)	> 400	300 - 400	200 - 300	100 - 200	< 200
Angolo d'attrito (°)	> 45	35 - 45	25 - 35	15 - 25	< 15

TABELLA 4

Dettagli sulle condizioni delle discontinuità R4 = A + B + C + D + E	Valori				
Lunghezza delle discontinuità	< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m
Coefficiente A	6	4	2	1	0
Apertura	nessuna	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5 mm
Coefficiente B	6	5	4	1	0
Rugosità	Molto rugosa	Rugosa	Leggermente rugosa	Liscia	Levigata
Coefficiente C	6	5	3	1	0
Riempimento	nessuno	Materiale duro < 5 mm	Materiale duro > 5 mm	Materiale tenero < 5 mm	Materiale tenero > 5 mm
Coefficiente D	6	4	2	2	0
Alterazione	Inalterata	Leggermente alterata	Moderatamente alterata	Molto alterata	Decomposta
Coefficiente E	6	5	3	1	0

Figura 19 - Parametri e valori degli indici per la "Classificazione RMR" di Bieniawski

CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE DEI TERRENI

La determinazione della capacità portante ultima (q_{ult}) ed ammissibile (q_{amm}) del terreno, in funzione della tipologia e geometria di fondazione considerata, viene eseguita utilizzando la formula proposta da TERZAGHI (1948):

$$q_{ult} = c \times N_c + \gamma_1 \times D \times N_q + 0.5 \times B \times \gamma_2 \times N_\gamma$$

dove:

$$Nc = 5 \times tan^4(45° + \varphi/2)$$

$$Nc = tan^6(45° + \varphi/2)$$

$$Ng = Nq + 1$$

rappresentano i Coefficienti di capacità portante del terreno:

Una volta determinata la capacità portante ultima (q_{ult}) del terreno, si può ricavare il valore del carico ammissibile (q_{amm}) espresso in funzione del valore attribuito al fattore di sicurezza (F) e all'indice R.Q.D. caratteristico dell'ammasso considerato (BOWLES):

$$q_{amm} = q_{ult} \times \frac{(R.Q.D.)^2}{F}$$

In riferimento al predimensionamento delle fondazioni si riportano alcuni dati ricavati in precedenti analisi eseguite sui litotipi in esame.
Per le calcareniti e i calcari arenacei o debolmente marnosi della Formazione di Borutta è possibile considerare un valore medio di capacità portante ammissibile pari a 400 kN/mq, riferito ad una fondazione isolata (plinto) con lato minimo di 2 metri e profondità di incastro di 1 metro.
Per un tale valore di carico unitario sul terreno i cedimenti attesi sono di entità trascurabile considerando un ammasso roccioso continuo.
Tali indicazioni devono essere intese come indicazioni di massima che dovranno essere confermate in sede di progettazione definitiva-esecutiva dei singoli interventi edificatori in progetto, una volta determinato il contesto stratigrafico di dettaglio delle aree di fondazione attraverso le opportune indagini e prove previste dalla normativa vigente.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Nell'ambito della stesura del progetto per il "P.U.A. Piazzale Segni a Sassari – Comparto G1.6 del P.U.C. di Sassari" è stato redatto il presente studio geotecnico per la verifica degli effetti e delle trasformazioni indotte dall'intervento esaminato. Sulla base di quanto riportato estesamente nei paragrafi precedenti si evidenziano le seguenti considerazioni conclusive.

CARATTERI MORFOLOGICI ED IDROGRAFICI

L'area è caratterizzata da morfologia originaria debolmente acclive, che tramite opportuni interventi di sistemazione morfologica consentirà di ospitare le strutture in progetto, e dall'assenza di elementi del reticolo idrografico o di deflusso areale delle acque meteoriche.
Non sono presenti elementi di instabilità potenziale o di pericolosità geologica considerato che l'area è caratterizzata da assoluta stabilità d'insieme. La verifica eseguita, pertanto, è positiva in quanto l'area esaminata presenta caratteri e proprietà che la rendono assolutamente idonea per la realizzazione dell'intervento in progetto.

SUCCESSIONE STRATIGRAFICA

Lo schema stratigrafico che caratterizza il settore orientale dell'abitato di Sassari, in corrispondenza dell'area in esame, è costituito dall'alternanza di banchi, strati e lenti di calcareniti mediamente cementate, giallastre, e calcari arenaceo-marnosi di colore biancastro. Lo spessore complessivo della formazione carbonatica è pluridecametrico.

MODELLO GEOLOGICO DELL'AREA

Il modello stratigrafico del terreno è riconducibile ad un tipo "monostrato", costituito dai litotipi riferibili alle unità litoide calcarenitico marnosa e a quella calcareo-arenacea entrambe appartenenti alla Formazione dei calcari di Monte Santo (NST). Tali unità sono presenti per uno spessore verificato superiore a 10 metri.

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO GEOMORFOLOGICO DELL'AREA

Le verifiche eseguite hanno consentito di verificare l'assenza di problematiche per frana e per piena nel settore oggetto di indagine per la mancanza di elementi potenzialmente predisponenti alla franosità e per la concomitante presenza di un substrato litoide subaffiorante.

DEFINIZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE (PSB) E DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE (RSL)

Le valutazioni eseguite hanno permesso di definire una PSB bassa, considerato che l'intera Isola è stata inserita nella Classe Sismica 4 (basso livello). Inoltre, non sono presenti elementi riferibili alla categoria sismica del sottosuolo (è stata definita la categoria B) ed alla topografia che possano determinare un'amplificazione della bassa sismicità del territorio.

MODELLO GEOTECNICO DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Il modello stratigrafico del terreno è riconducibile ad un tipo "monostrato", costituito dall'unità calcarenitica litoide, presente entro l'intera profondità di sviluppo del "volume significativo" del terreno di fondazione.

VERIFICHE GEOTECNICHE

Le verifiche geotecniche di massima hanno consentito di determinare i caratteri e le proprietà geotecniche per i litotipi che costituiscono il terreno di fondazione all'interno del modello geotecnico "monostrato" definito.

Relativamente alla determinazione della capacità portante del terreno, in funzione della geometria di fondazione analizzata, si ottiene un valore pari a circa 400 kN/mq.
Tale valore, che potrà essere utilizzato per il predimensionamento di massima delle fondazioni, dovrà essere verificato attraverso le risultanze di una successiva analisi di dettaglio per valutare la reale interazione fra le fondazioni delle strutture in progetto ed il terreno di cui si sono forniti i parametri geotecnici da utilizzare per tali verifiche.
Nell'ambito della stesura del progetto per l'urbanizzazione dell'area ubicata in Piazzale Segni, nell'abitato di Sassari – Area G1.6 è stato redatto il presente studio geologico per la verifica degli effetti e delle trasformazioni indotte dall'intervento esaminato. Sulla base di quanto riportato estesamente nei paragrafi precedenti si evidenziano le seguenti considerazioni conclusive.

Sassari, 06 novembre 2023

Dott. Geol. Andrea De Santis

ORDINE DEI GEOLOGI
REGIONE SARDEGNA
SEZIONE A
N. 235 Dott. Geol. ANDREA DE SANTIS