



R.T.P.



enser

ASSOCIATO

oice

Associazione delle organizzazioni di ingegneria,
di architettura e di consulenza tecnico-economica



REGIONE AUTONOMA DE SARDIGNA
REGIONE AUTONOMA DELLA SARDEGNA

COMUNE DI PALAU
UNIONE COMUNI GALLURA



COMUNE DI PALAU 2016
UNIONE COMUNI GALLURA

COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE
DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU
CIG: 67348058E5 - CUP: H14B15001080002

**INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE
DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU**

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

E) RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA

Codice S16141-PP-RE005-0

Rev.	Data	Redatto	Controllato	Approvato
0	31.03.2021	F. Landro	G. Benedetti	G. Marchi

ENSER s.r.l.
SOCIETÀ DI INGEGNERIA
www.enser.it



RTP: ENSER s.r.l.
ING. ANTONIO RUJU
ING. FRANCESCO BOSINCU
ING. ELENA DEMARTIS - DOTT.SSA ELISABETTA ALBA
AGR. CANDIDO MAODDI - ARCH. SILVIA SUSSARELLU



Sede Principale:
Viale Baccarini, 29
48018 FAENZA (RA)
Tel. 0546 663423/56
Fax 0546 663428

Sede di Bologna:
Via Zacconi, 16
40127 BOLOGNA (BO)
Tel. 051 245663
Fax 051 242251


Sede di Santarcangelo:
Via Andrea Costa, 115 47822
SANTARCANGELO DI ROMAGNA (RN)
Tel. 0541 1832933
Fax 0541 1832936

CERT-16254-2005-AQ-BOL-SINCERT
Mod 2 Rev.1 01/02/2011

C.F./P.IVA/Registro Im-
prese RA 02058800398


CAPITALE SOCIALE
€ 105 000,00 i.v.

Web: www.enser.it
E-Mail: enser@enser.it

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

INDICE


1. PREMESSA	5
2. NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO	7
2.1 NORMATIVA.....	7
2.2 DOCUMENTAZIONE TECNICA	7
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	8
3.1 ASSETTO GEOLOGICO STRUTTURALE.....	8
3.1.1 <i>Il complesso metamorfico di alto grado.....</i>	<i>11</i>
3.1.2 <i>Il complesso intrusivo ercinico</i>	<i>11</i>
3.2 ASSETTO STRATIGRAFICO	13
3.3 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.....	20
4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	21
5. CARTOGRAFIA DELLA PERICOLOSITÀ E DEI VINCOLI TERRITORIALI. 22	
5.1 VINCOLO IDROGEOLOGICO.....	22
5.2 PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA ED IDRAULICA	22
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE.....	27
6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE	27
6.1.1 <i>Premessa.....</i>	<i>27</i>
6.1.2 <i>Campagna indagini integrative 2020</i>	<i>27</i>
6.1.3 <i>Campagna indagini 2019</i>	<i>29</i>
6.1.4 <i>Campagna indagini 1994</i>	<i>34</i>
6.2 INDAGINI GEOFISICHE.....	34
7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO	35
7.1 DESCRIZIONE DEI PROFILI STRATIGRAFICI	35
8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA.....	36
8.1 UNITÀ TERRIGENE.....	36
8.1.1 <i>Peso unità di volume ed umidità naturale.....</i>	<i>36</i>
8.1.2 <i>Distribuzione granulometrica</i>	<i>38</i>
8.1.3 <i>Limiti di Atterberg</i>	<i>39</i>
8.1.4 <i>Parametri di stato iniziale.....</i>	<i>40</i>
8.1.4.1 <i>Densità relativa</i>	<i>40</i>
8.1.4.2 <i>Indice dei vuoti</i>	<i>41</i>
8.1.5 <i>Caratteristiche di resistenza al taglio</i>	<i>41</i>
8.1.6 <i>Condizioni non drenate (unità coesive)</i>	<i>41</i>
8.1.7 <i>Condizioni drenate</i>	<i>43</i>
8.1.7.1 <i>Unità incoerenti 11.5.....</i>	<i>43</i>
8.1.8 <i>Caratteristiche di deformabilità</i>	<i>44</i>
8.2 UNITÀ LITOIDI.....	45
8.3 PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI.....	47
8.3.1 <i>Unità terrigene</i>	<i>47</i>

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.3.2 Unità litoidi	48
9. ELEMENTI DI SISMICITÀ	49
9.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE.....	49
9.2 SISMICITÀ STORICA	50
9.3 SORGENTI SISMOGENETICHE	50
10. SINTESI E CONCLUSIONI.....	52

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1-1: INQUADRAMENTO GEOGRAFICO DELL'AREA DI STUDIO, DA GOOGLE EARTH, SCALA GRAFICA.	6
FIGURA 3-1: SCHEMA TETTONICO DEL BASAMENTO SARDO (DA APAT, 2005B; SCALA GRAFICA). IL ROSSO L'AREA DI STUDIO	8
FIGURA 3-2: EVOLUZIONE GEODINAMICA DEL CICLO ERCINICO IN SARDEGNA (DA APAT, 2005B).9	
FIGURA 3-3: SCHEMA TETTONICO DELLA SARDEGNA NORD-ORIENTALE (DA APAT, 2005A; NON IN SCALA). IN TRATTEGGIO MAGENTA L'AREA DI STUDIO.....	12
FIGURA 3-4: STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA IN SCALA 1:50.000 FOGLIO N.428 "ARZACHENA" (DA APAT, 2005A; NON IN SCALA). IN TRATTEGGIO MAGENTA L'AREA DI STUDIO	17
FIGURA 5-1: CARTOGRAFIA DEL VINCOLO IDROGEOLOGICO (DA WWW.URBISMAP.COM; NON IN SCALA). IN ROSSO, L'AREA DI STUDIO	22
FIGURA 5-2: STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL PAI (NON IN SCALA). IN ROSSO L'AREA DI STUDIO	23
FIGURA 5-3: CARTOGRAFIA DEL PIANO STRALCIO DELLE FASCE FLUVIALI (NON IN SCALA). IN ROSSO L'AREA DI STUDIO	24
FIGURA 5-4: STRALCIO DELLA CARTOGRAFIA DELLA PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA DEL PAI (NON IN SCALA). IN ROSSO L'AREA DI STUDIO	26
FIGURA 8-1: PESO UNITÀ DI VOLUME SECCO (γ_s) DA LABORATORIO	36
FIGURA 8-2: UMIDITÀ NATURALE DA LABORATORIO.	37
FIGURA 8-3: DENSITÀ RELATIVA DA STANDARD PENETRATION TEST.	40
FIGURA 8-4: RESISTENZA AL TAGLIO NON DRENATA PER L'UNITÀ 1 DA PROVE DI CONSISTENZA SPEDITIVE.	42
FIGURA 8-5: ANGOLO DI RESISTENZA A TAGLIO DI PICCO DA PROVE SPT.	43
FIGURA 8-6: STIMA DEL MODULO ELASTICO.....	44
FIGURA 8-7: CARATTERIZZAZIONE UNITÀ 4 CON IL METODO "HOEK-BROWN" - "ROCDATA" DI ROCSCIENCES INC.VERSIONE 5.013.	46
FIGURA 9-1: SISMICITÀ STORICA DEL COMUNE DI PALAU.	50
FIGURA 9-2: SORGENTI SISMOGENETICHE CONTENUTE NELLA NUOVA VERSIONE DEL "DATABASE OF POTENTIAL SOURCES FOR EARTHQUAKES LARGER THAN M 5.5 IN ITALY" PER L'AREA IN OGGETTO. IN ROSSO L'AREA DI STUDIO, SCALA GRAFICA.....	51

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

INDICE TABELLE

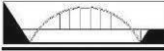
TABELLA 6-1: RIEPILOGO DELLE INDAGINI SVOLTE DURANTE LA CAMPAGNA INDAGINI INTEGRATIVE 2020	27
TABELLA 6-2: SINTESI DELLE PROVE SPT EFFETTUATE	28
TABELLA 6-3: RIEPILOGO DELLE PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO ESEGUITE SUI CAMPIONI RIMANEGGIATI PRELEVATI DURANTE LA CAMPAGNA INDAGINI INTEGRATIVE 2020	28
TABELLA 6-4: RIEPILOGO DELLE INDAGINI SVOLTE DURANTE LA CAMPAGNA INDAGINI 2019	29
TABELLA 6-5: SINTESI DELLE PROVE SPT EFFETTUATE	30
TABELLA 6-6: RIEPILOGO DELLE PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO ESEGUITE SUI CAMPIONI RIMANEGGIATI PRELEVATI DURANTE LA CAMPAGNA INDAGINI 2019	31
TABELLA 8-1: DISTRIBUZIONE GRANULOMETRICA SU CAMPIONI PRELEVATI	38
TABELLA 8-2 LIMITI DI ATTERBERG	39
TABELLA 8-3: RISULTATI DELLE PROVE SPEDITIVE PP	41
TABELLA 8-4: RISULTATI PROVE AGGIUNTIVE DI COMPRESSIONE SUL MATERIALE LITOIDE	45
TABELLA 8-5: PARAMETRI GEOTECNICI DELLE UNITÀ TERRIGENE	47
TABELLA 8-6: PARAMETRI GEOTECNICI DELLE UNITÀ DI SUBSTRATO ALTERATO E DI SUBSTRATO	48
TABELLA 9-1: VALORI DI ACCELERAZIONE MASSIMA DEL SUOLO A_g CON PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO DEL 10% IN 50 ANNI, RIFERITO A SUOLI RIGIDI CARATTERIZZATI DA $V_{s,30} > 800$ M/S	49

Allegato 1 - "Report delle indagini geognostiche integrative"

Allegato 2 - "Report delle indagini geognostiche"

Allegato 3 - "Report delle indagini geognostiche del 1994"

Allegato 4 - "Report delle indagini geofisiche"


 ENSER <small>SOCIETÀ DI INGEGNERIA</small>	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

1. PREMESSA

Il presente documento è redatto nell'ambito del "Progetto di fattibilità tecnica ed economica" per la realizzazione dell'intervento di "COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU".

In Figura 1-1 è riportata una foto da satellite con l'indicazione dell'area oggetto di studio. Lo studio raccoglie e sintetizza le informazioni disponibili per il sito consistenti in dati derivanti da indagini pregresse, realizzate nel 1994 nell'ambito dei lavori di completamento del porto di Palau (in particolare della realizzazione del nuovo sporgente a mare per l'ampliamento della banchina esistente) e da indagini geognostiche realizzate per la presente fase progettuale. Sulla base di tali dati, verranno di seguito descritte le principali peculiarità di carattere geologico e geotecnico dell'area connesse alla realizzazione dell'intervento in progetto. In sintesi, saranno trattati i seguenti argomenti:

- inquadramento geografico generale;
- analisi dei vincoli urbanistici presenti nell'area;
- inquadramento geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale;
- descrizione delle indagini geognostiche disponibili;
- ricostruzione del modello geologico-geotecnico di riferimento;
- caratterizzazione geotecnica di massima;
- classificazione sismica dell'area e pericolosità sismica di base;
- analisi della sismicità e della magnitudo storica;
- individuazione delle principali strutture sismogenetiche.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

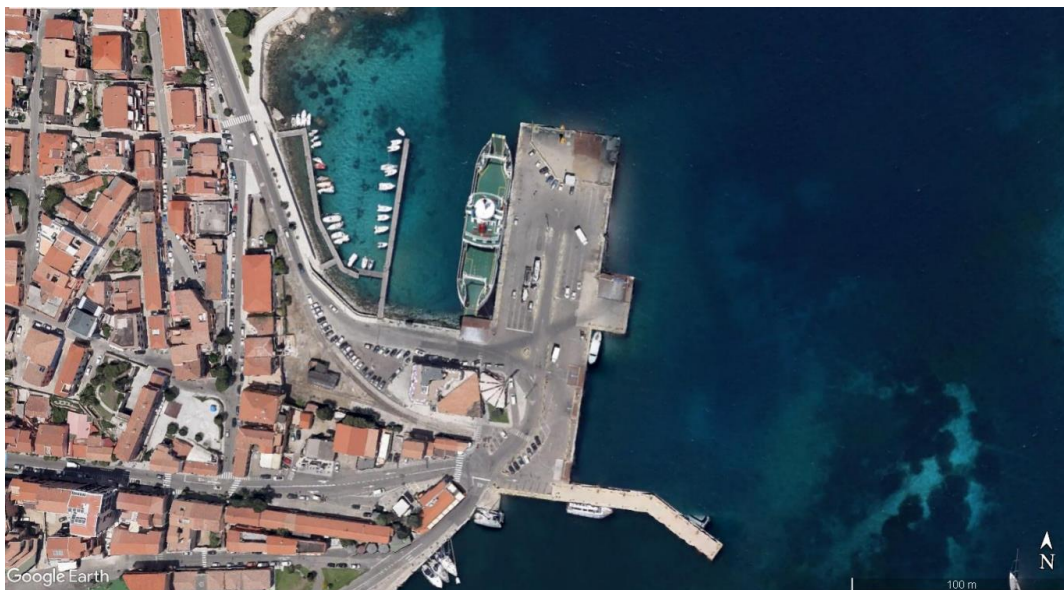



Figura 1-1: Inquadramento geografico dell'area di studio, da Google Earth, scala grafica.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021


2. **NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE TECNICA DI RIFERIMENTO**

2.1 **Normativa**

- O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003 e s.m.i., "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" e successive modifiche ed integrazioni.
- O.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".
- D.G.R. Sardegna del 30/03/2004 n. 15/31, Disposizioni preliminari in attuazione dell'O.P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- DM 17-01-18 "Norme Tecniche per le Costruzioni";
- CM n.35 del 11/02/2019 "Istruzioni per l'applicazione dell'«Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"» do cui al D.M. 17/01/2018;
- Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche";
- UNI EN 1997-1 - Eurocodice 7 – Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali;
- UNI EN 1997-2 - Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica – Parte 2: Indagini e prove nel sottosuolo.

2.2 **Documentazione tecnica**

- ICOS-SICAPI S.p.A. - Lavori di completamento del porto di Palau - Diaframma continuo "ICOS" per la realizzazione del nuovo sporgente a mare per l'ampliamento della banchina esistente. Indagini geognostiche (Apr. 94 - lug. 94 - dic. 94).
- Si.Ar trivellazioni – Relazione tecnica: "Intervento di completamento e razionalizzazione nel porto commerciale di Palau – Indagini geognostiche", ottobre 2019.
- Si.Ar trivellazioni – Relazione tecnica: "Intervento di completamento e razionalizzazione nel porto commerciale di Palau – Indagini geognostiche integrative", luglio 2020.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

3.1 Assetto geologico strutturale

La Sardegna è divisa in tre complessi geologici che affiorano per estensioni circa equivalenti: il basamento metamorfico ercinico, il complesso intrusivo tardo-ercinico e le successioni sedimentarie e vulcaniche tardo-erciniche, mesozoiche e cenozoiche (APAT, 2005b;Figura 3-1).

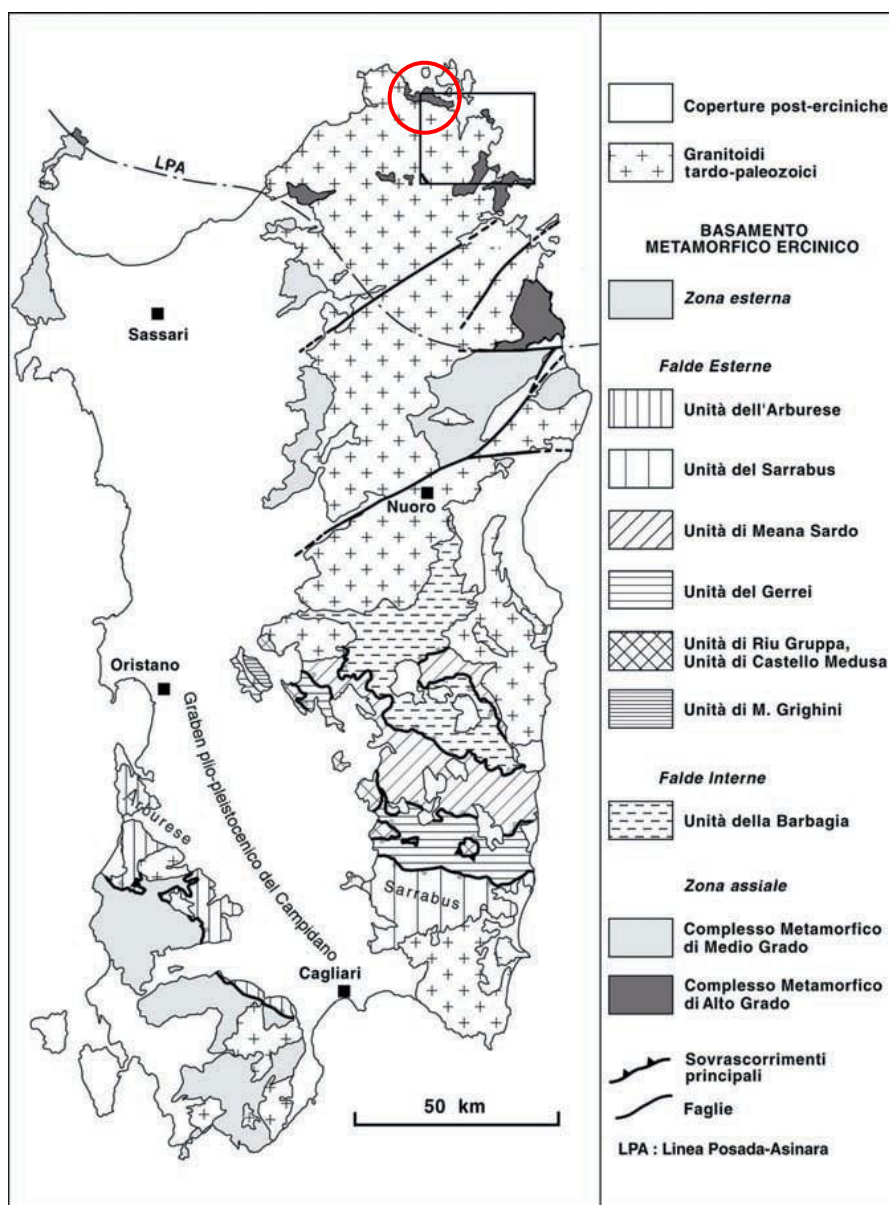



Figura 3-1: Schema tettonico del Basamento sardo (da APAT, 2005b; scala grafica). Il rosso l'area di studio

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

Il basamento paleozoico sardo è un segmento della Catena Ercinica sud-europea che, dalla maggior parte degli autori, è considerata una catena collisionale con subduzione di crosta oceanica e metamorfismo di alta pressione a partire dal Siluriano, collisione continentale con importante ispessimento crostale, metamorfismo barroviano (datato a 339-350 Ma; DEL MORO et alii, 1991) e magmatismo durante il Devoniano superiore e il Carbonifero (MATTE, 1986; CARMIGNANI et alii, 1994a) (Figura 3-2).

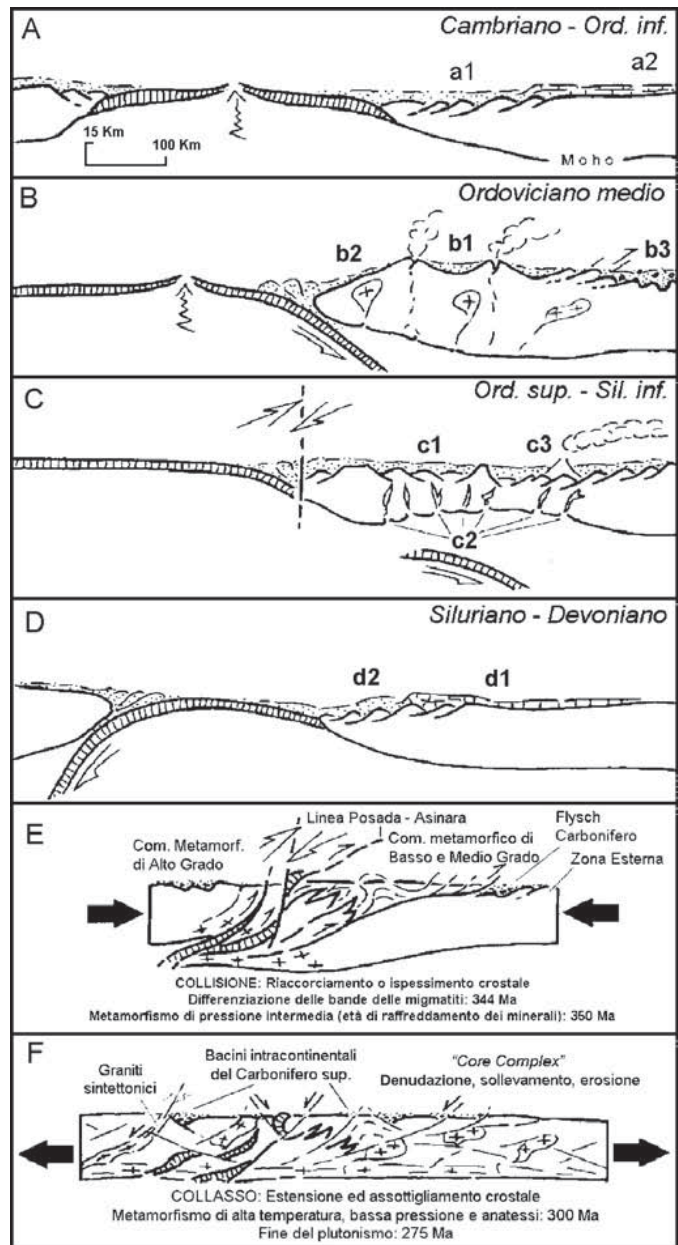



Figura 3-2: Evoluzione geodinamica del ciclo ercinico in Sardegna (da APAT, 2005b).

In Sardegna la geometria collisionale della Catena Ercinica è ancora ben riconoscibile. Secondo CARMIGNANI et alii (1992a; 1994a) il margine armoricano sovrascorso è rappresentato dal Complesso Metamorfico di Alto Grado che affiora

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021


nella Sardegna Settentrionale (Figura 3-1) mentre il margine del Gondwana subdotto è rappresentato da un Complesso Metamorfico di Basso e Medio grado strutturato in un edificio a falde e caratterizzato da una zoneografia barroviana progradata (CARMIGNANI et alii, 1979; FRANCESCHELLI et alii, 1989), a sua volta suddiviso in Falde Interne e Falde Esterne, che affiora nella Sardegna centrale e sudorientale. I due complessi sono separati dalla Linea Posada-Asinara, lungo la quale affiorano frammenti di crosta oceanica con paragenesi relitte di ambientazione eclogitica (CAPPELLI et alii, 1992).

A questa strutturazione collisionale nel tardo-ercinico segue un'evoluzione caratterizzata dal collasso gravitativo della catena e da rilascio termico (metamorfismo di alto T/P). Nelle aree del Mediterraneo occidentale i processi estensionali legati al collasso dell'orogene ercinico sono attivi da 320 fino ad almeno 280 Ma (e.g. Massiccio Centrale e Montagna Nera); in Sardegna e Corsica l'evoluzione tardo-ercinica della catena, caratterizzata da una dinamica essenzialmente estensionale e/o trans-tensile, è dominata da processi esumativi attivi, come minimo, a partire da 308 Ma e coincide con la messa in posto di gran parte delle plutoniti che formano il Batolite Sardo-Corso. Essa si esprime anche con diffuse manifestazioni vulcaniche e sub-vulcaniche in campi filoniani (ATZORI & TRAVERSA, 1986; VACCARO, 1990) e con la genesi di bacini intracratonici stefaniano-autuniani.

Col Permiano più tardo e con il Triassico inferiore un nuovo ciclo magmatico ad affinità alcalina post-orogena (BONIN, 1980), ancora associato a sedimentazione continentale, caratterizza il blocco sardo-corso. Questo magmatismo, che in Sardegna si esplica con manifestazioni sub-vulcaniche ed effusive (BALDELLI et alii, 1987; CORTESOGNO & GAGGERO, 1999), non può essere riferito al collasso della Catena Ercinica ma piuttosto alla riorganizzazione delle placche legata alla fase di rifting che, manifestatasi con trasgressioni marine fin dal Triassico superiore, porterà all'apertura dell'Oceano Ligure-Piemontese (CORTESOGNO et alii, 1998).

Dopo l'Orogenesi ercinica altri settori di crosta strutturata in questo evento sono incorporati nella catena pirenaica, nelle Alpi e nell'Appennino, mentre il settore di crosta, che attualmente costituisce il Blocco Sardo-Corso, non è coinvolto in importanti eventi orogenici; mancano, quindi, le successioni alloctone di dominio oceanico che costituiscono l'edificio a falde della Corsica Alpina.

In Sardegna affiorano esclusivamente successioni mesozoiche comuni ai domini europei più esterni, caratterizzate da piattaforme carbonatiche di mare poco profondo; esse sono coinvolte insieme a successioni sedimentarie e vulcaniche cenozoiche pre-burdigaliane in un'importante tettonica a carattere trascorrente che si manifesta tra l'Oligocene e l'Aquitano. Tale tettonica, con le sue manifestazioni transpressive e transtensive, viene messa in relazione alla collisione, cui è legato l'Appennino settentrionale, tra il blocco Sardo-Corso e l'Adria (CARMIGNANI et alii, 1994b; OGGIANO et alii, 1995; CARMIGNANI et alii, 1995).

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

3.1.1 Il complesso metamorfico di alto grado

Il Complesso Metamorfico di Alto Grado di CARMIGNANI et alii (1994a) affiora a nord della Linea Posada-Asinara ed è costituito da affioramenti di modesta estensione, isolati nel batolite calcocalcino tardo-orogenico.

I protoliti di questo complesso sono con ogni probabilità precambri: in Sardegna sono intrusi da ortogneiss ordoviciani (DI SIMPLICIO et alii, 1974) ed in Corsica un basamento metamorfico panafricano è sormontato da una successione anchimetamorfica attribuita al Paleozoico inferiore (BAUDELOT et alii, 1977; 1981; MENOT & ORSINI, 1990). Nell'insieme, il Complesso Metamorfico di Alto Grado è interpretato come una falda cristallina sovrascorsa, durante la collisione ercinica, sulle attuali metamorfite di medio grado che affiorano lungo la Linea Posada-Asinara (CARMIGNANI et alii, 1991; CAPPELLI et alii, 1992).


Il litotipo dominante è costituito da migmatiti, le quali mostrano una certa variabilità di tipologie tessiturali e composizionali. Al di là delle specifiche caratteristiche tessiturali e strutturali, le migmatiti possono essere suddivise in metatessiti e diatessiti (nomenclatura secondo ASHWORTH, 1985). All'interno di esse si rinvengono corpi pluriettometrici di ortogneiss e corpi di anfiboliti; queste ultime sono il litotipo che ha meglio conservato la complessa evoluzione termobarica di questo settore di crosta.

3.1.2 Il complesso intrusivo ercinico

I granitoidi tardo-ercinici costituiscono circa un quarto dell'Isola; insieme alle intrusioni granitoidi della Corsica formano il Batolite Sardo-Corso. Questo è il batolite più importante della Catena Ercinica Europea, esteso per una lunghezza di 400 Km ed una larghezza di oltre 50.

Il carattere del batolite è notoriamente composito; la variabilità delle caratteristiche, sia geochimiche che strutturali, è implicita se si considera il lasso di tempo piuttosto lungo in cui si realizza la sua messa in posto. Considerando che i granitoidi della Corsica settentrionale hanno età di messa in posto viseana-namuriana (ROSSI et alii, 1988) e che i massicci leucomonzogranitici come quelli di Buddusò (CASTORINA & PETRINI, 1989) e Tempio Pausania (DEL MORO et alii, 1996) hanno età permiana inferiore, la messa in posto dell'intero batolite si realizza in un intervallo di tempo di circa 60 Ma. In un tale intervallo di tempo è lecito aspettarsi cambiamenti del quadro geodinamico che si riflettono sui caratteri strutturali e composizionali delle diverse intrusioni.

La messa in posto del batolite sardo è da ricondurre alla tettonica estensionale legata al collasso gravitativo della catena ercinica. Tale tettonica in Sardegna è sicuramente attiva a partire da almeno 307 Ma, cioè dalle più antiche età di chiusura isotopica Rb-Sr delle muscoviti dei graniti anatettici della Bassa Gallura (la cui genesi è legata al regime esumativo della catena; MACERA et alii, 1989), e prosegue fino almeno all'Autuniano. Ad essa è ricondotto il metamorfismo regionale di alta T/P che

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

si manifesta in alcuni settori della catena nel Nord-Sardegna (DI PISA & OGGIANO, 1987b; DEL MORO et alii, 1991; DI PISA et alii, 1993), lo sviluppo di bacini stefano-autuniani ed il vulcanismo calcalino del Permiano. Gran parte del plutonismo calcalino del batolite sardo deve perciò ritenersi coevo alle vulcaniti ed ai sedimenti (almeno della loro parte basale) presenti nei bacini stefano-autuniani. In definitiva tali vulcaniti possono rappresentare la manifestazione effusiva del magmatismo essenzialmente intrusivo del batolite (ROSSI et alii, 1993; DEL MORO et alii, 1996).

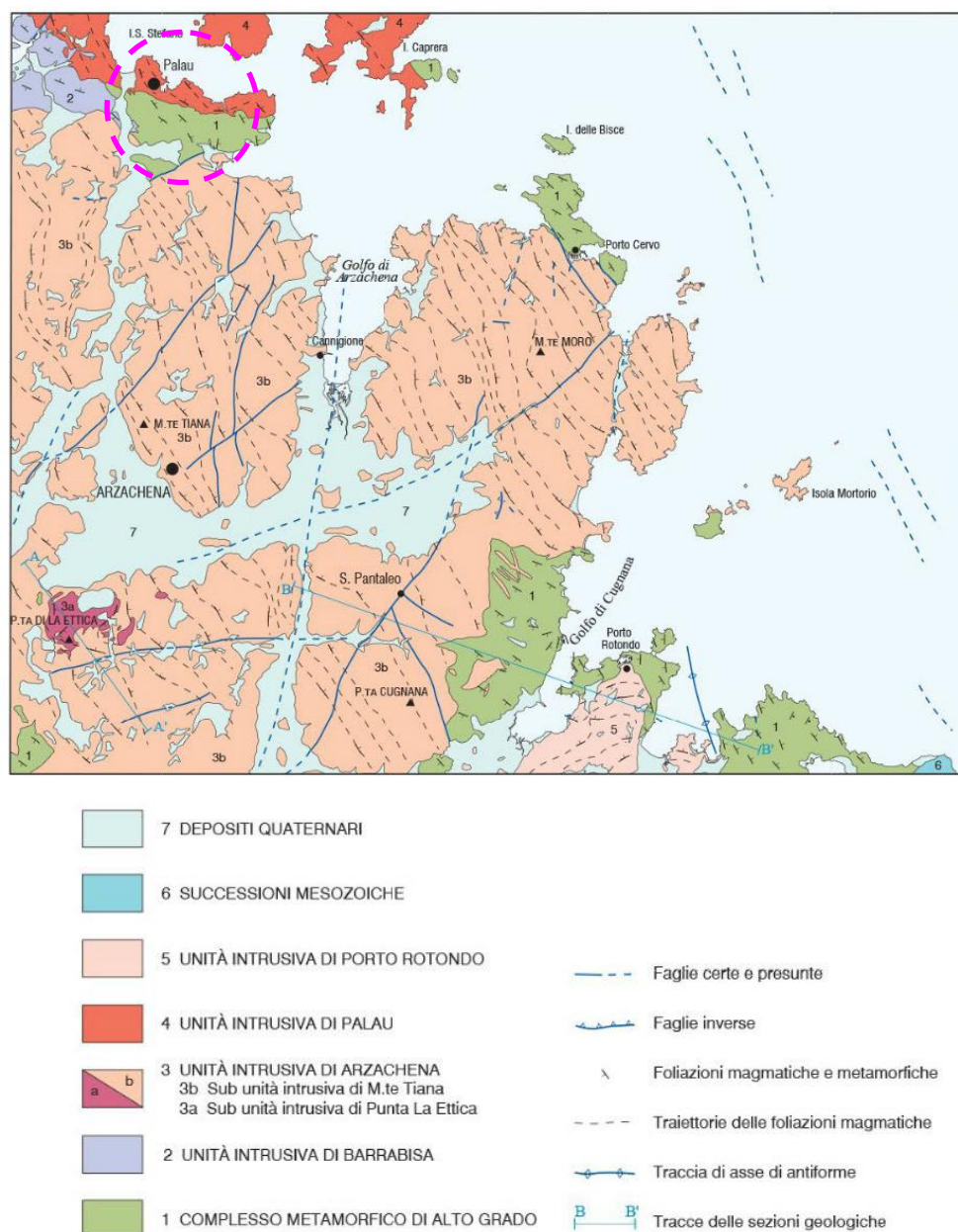



Figura 3-3: Schema tettonico della Sardegna nord-orientale (da APAT, 2005a; non in scala). In tratteggio magenta l'area di studio

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

3.2 Assetto stratigrafico

Il territorio su cui sorge l'abitato di Palau affiorano prevalentemente le rocce appartenenti all'unità intrusiva di Palau di età paleozoica, mentre nell'entroterra affiorano i depositi del Complesso metamorfico di alto grado.

In riferimento alla Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio n.428 "Arzachena" (di cui si riporta uno stralcio in Figura 3-4), vengono di seguito descritte le unità stratigrafiche affioranti nell'intorno dell'area oggetto di studio. Ai fini della descrizione delle formazioni si è fatto riferimento alle Note Illustrative della Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 foglio n.428 "Arzachena".

Depositi quaternari dell'area marina

Depositi litorali

- Sabbie silicoclastiche (sp): sabbie da fini a medie di composizione quarzoso-feldspatica; caratterizzano principalmente la spiaggia sommersa dei litorali sabbiosi e talvolta si riscontrano nelle piccole insenature. *Olocene superiore*


Depositi di piattaforma

- Sabbie organogene in matrice limosa (sl): sedimenti sabbiosi medio-fini con una componente limosa derivante dalla decantazione di un particellato organico dovuto all'immissione dai centri abitati adiacenti e dalle imbarcazioni; caratterizzano le zone portuali. *Olocene superiore*
- Sabbie bioclastiche (sb): sono i sedimenti più profondi della piattaforma prossimale; sono distinguibili due facies: la prima si estende dal piede delle praterie a Posidonia oceanica verso il largo ed è rappresentata da frammenti di organismi ad esoscheletro carbonatico (facies bioclastica) che vivono in associazione con le fanerogame marine, in particolare rappresentate da alghe rosse, foraminiferi, briozoi, echinidi, gasteropodi e lamellibranchi. La facies più profonda (facies organogena) costituita in prevalenza da bioclasti e ciottoli biogenici legati all'attività di alghe rosse a scheletro calcareo. Questi depositi caratterizzano la fascia batimetrica tra -7 e -35 m. *Olocene superiore*

Depositi quaternari dell'area continentale

Depositi olocenici

- Depositi dei letti fluviali e dei terrazzi alluvionali (b): depositi alluvionali grossolani con limitate lenti e livelli di sabbie e di ghiaie fini. Le granulometrie sono in genere simili a quelli che si osservano lungo gli alvei attuali. Le strutture sono caratterizzate da livelli a stratificazione piano parallela o incrociata concava generate da canali di bassa profondità interessati da assenza o quasi assenza di migrazione laterale. Lo spessore di questi sedimenti, difficilmente valutabile, è nella maggior parte dei casi intorno a qualche metro. Verso la foce talvolta passano a limi ed argille per la interdigitazione con stagni e paludi costiere. Sono distinti in depositi a ghiaie

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

prevalenti (ba), a sabbie prevalenti (bb) ed a limi e argille prevalenti (bc).
Olocene

- Depositi di spiaggia e dei cordoni litorali antichi (g): depositi sabbiosi che costituiscono cordoni litorali in posizione arretrata rispetto a quelli attuali e ricoperti da vegetazione. *Olocene*
- Depositi di spiaggia (g2): sedimenti sabbiosi da medio-fini a grossolani, da ben classati a molto ben classati, che affiorano all'interno delle numerose baie che caratterizzano la parte interna delle rias; poggiano in discordanza direttamente sul substrato paleozoico. *Attuale*

Sistema filoniano

Filoni basaltici a serialità transizionale

- Filoni basaltici olivinici e trachibasaltici (fb): filoni a tessitura doleritica (granulo medio circa 1 mm) con bordi raffreddati di spessore decimetrico, generalmente porfirici con fenocristalli (2-3 mm) di plagioclasio e subordinata olivina; hanno giacitura subverticale e direzione N-S. *Carbonifero sup.-Permiano*

Filoni calcalcalini

- Filoni di composizione prevalentemente intermedia a serialità calcalcalina (fd): filoni a tessitura porfirica con indice di porfiricità molto variabile (I.P. 5-25), fenocristalli di plagioclasio, orneblenda e/o biotite. Sono frequenti cristalli di quarzo molto arrotondati, con bordi lobati per fenomeni di riassorbimento che in molti casi possono essere considerati fenocristalli. *Carbonifero sup.-Permiano*


Complesso intrusivo tardo-ercinico

Unità intrusiva di Palau

L'unità intrusiva di Palau è costituita da quattro termini litologici distinti cartograficamente. Si tratta essenzialmente di monzograniti a tessitura orientata che tendono ad assumere carattere leucocrato e tessitura isotropa. Queste litofacies formano un corpo intrusivo allungato in direzione NW-SE e delimitato a sud dall'esteso affioramento di basamento metamorfico di Palau, e a sud ovest dall'unità intrusiva di Barrabisa. L'unità di Palau probabilmente ha la sua continuità cartografica verso Nord nelle isole dell'arcipelago de La Maddalena dove, allo stato attuale delle conoscenze, è possibile ritrovare la stessa architettura intrusiva.

Le litofacies dell'unità intrusiva di Palau sono descritte qui di seguito.

- Facies Palau (PAU_a): nei pressi del paese di Palau affiora la facies che costituisce il termine geometricamente più basso della omonima unità intrusiva. Le sue caratteristiche distintive sono la tessitura inequigranulare, talvolta porfiroide, con abbondanti fenocristalli di K-feldspato di taglia compresa fra 1 e 4 cm in una massa fondamentale a grana media a quarzo,

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021


plagioclasio e K-feldspato xenomorfi. La facies di Palau è confinante con quelle di Capo d'Orso e di Porto Rafael tramite contatti localmente sfumati, che indicano messe in posto sub-contemporanee. *Carbonifero sup.*

- Facies Porto Rafael (PAU_b): la roccia è caratterizzata da colore bianco rosato tenue, tessitura da inequigranulare a microgranulare con rari cristalli subedrali di K-feldspato di taglia compresa fra 1 e 3 cm e quarzo globulare. La biotite è poco abbondante (5%). Il corpo principale è in rapporti intrusivi con l'unità di Barrabisa con contatto generalmente netto, in direzione NW-SE. Solo localmente il contatto tra questa litofacies e le altre è sfumato in corrispondenza del passaggio alla facies leucogranitica tipo Capo d'Orso ed alle breccie magmatiche di Monte Altura. *Carbonifero sup.*
- Facies Capo d'Orso (PAU_c): questa facies affiora estesamente a est di Palau interponendosi tra il basamento metamorfico di alto grado, col quale crea uno stacco morfologico molto evidente, ed i monzograniti inequigranulari dell'unità intrusiva di Palau. Il contatto con il basamento è moderatamente "sfrangiato" con interdigitazioni di granito orientate N120 all'interno delle metamorfiti, mentre il contatto con il monzogranito della facies Palau è sfumato e progressivo. questa litofacies si distingue per il colore rosato, conferitogli dalla diffusa e continua presenza di aggregati policristallini di K-feldspato, e per la tessitura isotropa ipidiomorfa equigranulare. La biotite ha taglia millimetrica e non supera il 5% modale. *Carbonifero sup.*
- Breccie intrusive (PAU_d): il carattere fondamentale di questa litofacies è dato dalla presenza di elementi angolari di migmatiti, per lo più diatessiti, e di blocchi di monzogranito-diorite foliata ascrivibili all'intrusione di Barrabisa, entro una matrice di colore grigio-biancastra a composizione granodioritica e tessitura tendenzialmente equigranulare a grana minuta. Questa litofacies è stata dubitativamente interpretata come una facies di bordo dell'intrusione del Monte Altura-Palau. *Carbonifero sup.*

Unità intrusiva di Barrabisa

Questa unità affiora ad est di Palau dove, unitamente al complesso migmatitico, viene intrusa dall'unità di Palau lungo un contatto caratterizzato a tratti da breccie intrusive.

- Facies Barrabisa (BBA_a): granodioriti microgranulari foliate, con piccoli k-feldspati caratterizzate da una foliazione evidenziata dall'allineamento di films di biotite, più raramente di muscovite, e di aggregati policristallini di quarzo che conferisce alla roccia una marcata struttura plano-lineare. L'unità intrusiva di Barrabisa mostra una certa eterogeneità di caratteri petrografici e composizionali. Innocenti (1991) ha distinto una facies tonalitica, una granodioritica e una monzo-granodioritica: nell'area affiora essenzialmente quest'ultima facies che a tratti sfuma in una facies granodioritica. La facies dominante ha grana medio-fine, tessitura inequigranulare ipidiomorfa con

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021


plagioclasio euedrale-subedrale, feldspato alcalino subedrale-anedrale, spesso pecilitico su plagioclasio e miche (biotite e muscovite), e quarzo anedrale.
Carbonifero

Complesso metamorfico di alto grado

Ortogneiss di Golfo Aranci (OTG): hanno caratteri composizionali e tessiturali piuttosto vari. Si va da tipi monzogranitici occhadini, con grossi individui relitti di feldspato alcalino, a tipi granodioritici essenzialmente equigranulari, spesso con lineazioni mineralogiche ben marcate.

Gruppo di Cugnana

- Diatessiti di Cala Capra (MGD): il litotipo dominante è costituito da migmatiti stromatiche che a tratti sfumano in modo più o meno discontinuo ad agmatiti, a migmatiti a schlieren, fino a nebuliti. In queste ultime la roccia assume un aspetto d'insieme granitoide, nel quale le strutture precedenti sono completamente obliterate restando soltanto sottili festonature di spessore millimetrico o centimetrico. Nelle diatessiti è relativamente abbondante il feldspato alcalino che, assieme a plagioclasio, quarzo e biotite, costituisce la paragenesi fondamentale. *Pre-Cambriano?*
- Metatessiti di Punta della Volpe (MGT): affiorano in piccoli lembi decametrici o ettometrici che formano dei resistens all'interno delle diatessiti. In esse è ancora agevole la distinzione tra paleosoma e neosoma. I leucosomi possono avere composizione granitoide (a quarzo, feldspato alcalino e plagioclasio) o trondhjemitoidale (a quarzo e plagioclasio). Le porzioni melanocrate sono in generale ad andamento sub-parallelo a quelle leucocrate ed alternate ad esse in modo più o meno discontinuo. Sono composte essenzialmente di biotite con quantità minori di quarzo e plagioclasio. Sono riconoscibili granato e noduli sillimanitici. *Pre-Cambriano?*

	Committente: COMUNE DI PALAU 	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

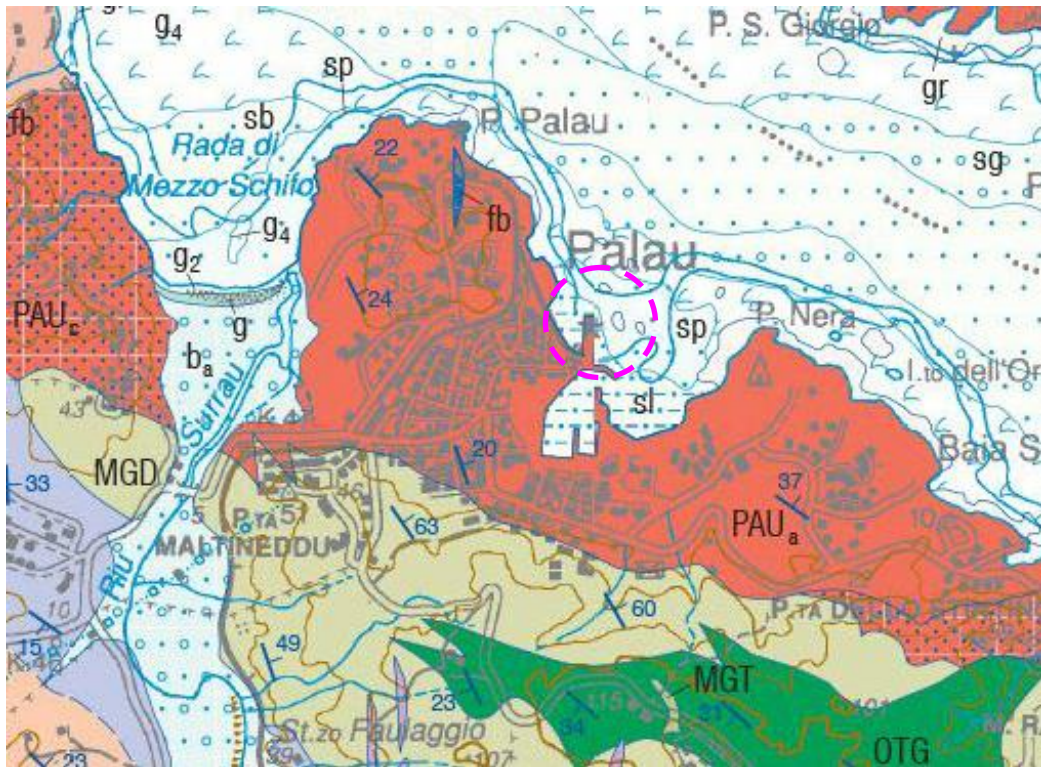
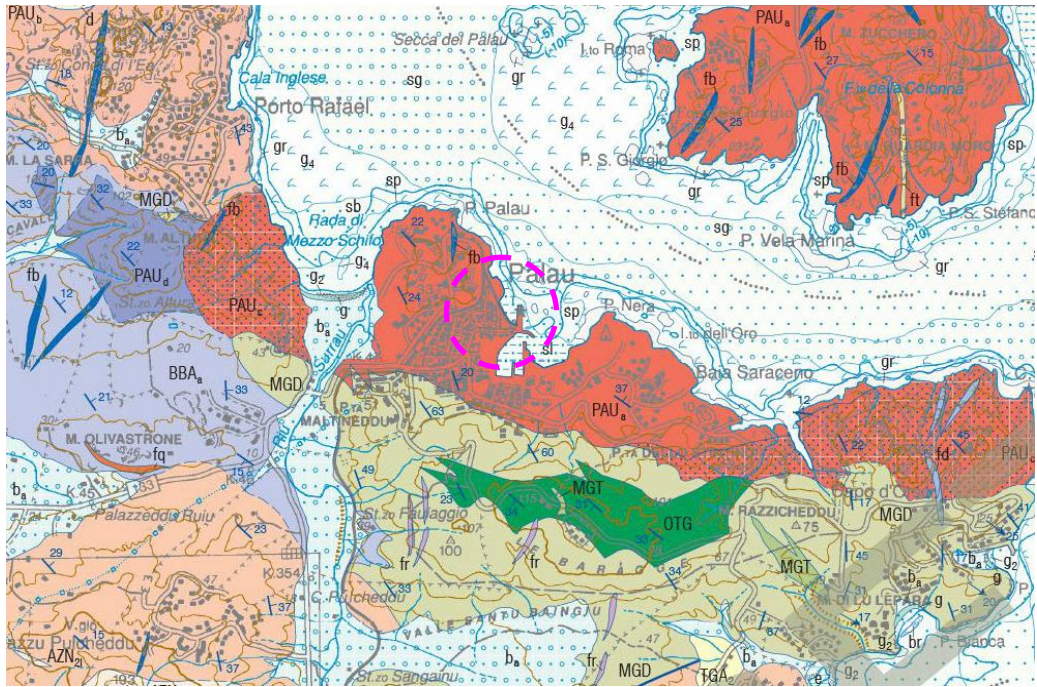



Figura 3-4: Stralcio della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000 foglio n.428 "Arzachena" (da APAT, 2005a; non in scala). In tratteggio magenta l'area di studio

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA MARINA

- Depositi deltizi**
Sabbie limose.
OLOCENE SUP.
- Depositi litorali**
Sabbie silicoclastiche.
OLOCENE SUP.
Arenarie e conglomerati di beach-rock.
OLOCENE SUP.
- Depositi di piattaforma**
Sabbie organogene in matrice limosa.
OLOCENE SUP.
Sabbie bioclastiche.
OLOCENE SUP.
Sabbie ghiaiose organogene.
OLOCENE SUP.
Sabbie limose di piattaforma distale.
OLOCENE SUP.
Limi sabbiosi piattaforma distale.
OLOCENE SUP.

DEPOSITI QUATERNARI DELL'AREA CONTINENTALE


DEPOSITI OLOCENICI

- Depositi di spiaggia**
Sabbie e/o ghiaie litorali, con granulometrie da medio-fini a grossolane e locali accumuli di *Posidonia*.
ATTUALE
- Coltri eluvio-colluviali**
Detriti immersi in matrice fine, talora con intercalazioni di suoli più o meno evoluti, arricchiti in frazione organica.
OLOCENE
- Depositi dei letti fluviali e dei terrazzi alluvionali**
Ghiaie prevalenti (b_2); sabbie prevalenti (b_3); limi ed argille prevalenti (b_4), in lenti e livelli di modesto spessore.
OLOCENE
- Depositi di stagni, lagune e paludi costiere**
Limi ed argille, grigio scure con intercalazioni sabbiose.
OLOCENE
- Depositi di spiaggia e dei cordoni litorali antichi**
Sabbie, ghiaie e calcareniti con frammenti fossiliferi (*Arca noe*, *Cardium edule*, ecc).
(*Trasgressione versiliana*).
OLOCENE

COMPLESSO INTRUSIVO TARDO-ERCINICO




UNITÀ INTRUSIVA DI PALAU

- Facies orientate e/o isotrope**
- PAU_d**
Breccie intrusive con elementi angolari di migmatiti e di granodioriti foliate della facies Barrabisa, al contatto tra il leucomonzogranito facies Capo d'Orso di M. Altura e l'intrusione di Barrabisa.
CARBONIFERO SUP.
- PAU_c**
Leucomonzograniti biotitici rosati equigranulari.
Facies Capo d'Orso
CARBONIFERO SUP.
- PAU_b**
Monzograniti inequigranulari a rari fenocristalli subedrali di K-feldspato di taglia compresa tra 1 e 3 cm.
Facies Porto Rafael
CARBONIFERO SUP.
- PAU_a**
Monzograniti inequigranulari a fenocristalli di K-feldspato di taglia compresa tra 1 e 4 cm.
Facies Palau
CARBONIFERO SUP.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

UNITÀ INTRUSIVA DI ARZACHENA

Sub-unità intrusiva di Monte Tiana
Facies orientate e/o isotrope

- 
 AZN_{2m} Leucomicrograniti a biotite e muscovite.
Facies Miracheddu
CARBONIFERO SUP.
- 
 AZN₃ Leucomicrograniti a sola biotite.
Facies Monte Pulcheddu
CARBONIFERO SUP.
- 
 AZN₃ Leucograniti a muscovite, talora con cavità miarolitiche.
Facies Punta di la Banderitta
CARBONIFERO SUP.

UNITÀ INTRUSIVA DI BARRABISA



Facies foliate

- 
 BBA_s Grandodioriti microgranulari foliate, con piccoli K-feldspati.
Facies Barrabisa
CARBONIFERO

COMPLESSO METAMORFICO DI ALTO GRADO



- 
 LGF Leucograniti foliati a muscovite di Punta Iscia Longa.
?
- 
 OTG Ortogneiss di Golfo Aranci.
?

















GRUPPO DI CUGNANA


- 
 MGD Diatessiti di Cala Capra.
PRE-CAMBRIANO ?
- 
 MGT Metatessiti di Punta della Volpe (MGT) con anfiboiti (MGT_s) e noduli calc-silicatici.
PRE-CAMBRIANO ?

PALEOZOICO

COMPLESSO FILONIANO TARDO-ERCINICO

- 
 fd **Filoni di composizione prevalentemente intermedia a serialità calcicalina**
Filoni dioritici, quarzoandesitici.
CARBONIFERO SUP. – PERMIANO
- 
 fb **Filoni basaltici a serialità transizionale**
Filoni basaltici olivinici e trachibasaltici.
CARBONIFERO SUP. – PERMIANO

-  Stratificazione (fluidità magmatica) e/o scistosità
 -  Stratificazione verticale (fluidità magmatica) e/o scistosità
 -  Lineazione mineralogica di massima estensione
 -  Asse di piega
 -  Contatto stratigrafico certo, presunto
 -  Faglia certa, presunta
 -  Faglia inversa certa
 -  Faglia trascorrente certa, presunta
 -  Traccia di sezione geologica
 -  Conoide alluvionale
 -  Cava attiva e inattiva
- SIMBOLOGIA AREA MARINA**
-  Prateria a fanerogame (g_a)
 -  Coralligeno di piattaforma: corpi litoidi organogeni ad alghe calcaree (cp)
 -  Frana di crollo: accumulo di blocchi al piede della falesia (fc)
 -  Faglia sepolta
 -  Spessore dei sedimenti fini olocenici. Isopaca in metri

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

3.3 Inquadramento geomorfologico

L'area in esame è caratterizzata da una morfologia fortemente accidentata, in cui i processi costieri da una parte e quelli di alterazione su rocce granitiche e successivamente la rielaborazione da parte delle acque correnti superficiali dall'altra, giocano il ruolo predominante.


La natura litologica dei terreni, costituiti in prevalenza da rocce intrusive, contribuisce a generare un paesaggio caratteristico.

L'erosione selettiva ha giocato un ruolo importante anche nel modellamento subaereo dell'area dato che le valli sono spesso rettilinee ed orientate con i principali lineamenti tettonici.

Sono inoltre estremamente diffuse tutte le morfologie connesse all'arenizzazione dei graniti ed alla successiva erosione differenziata dei blocchi da parte delle acque correnti superficiali e del ruscellamento diffuso. Numerosi sono le torri ed i campi di blocchi connessi con il crollo di prismi di roccia dai quali era stata allontanata la frazione alterata.

Lungo le zone maggiormente fratturate e fagliate si sono approfonditi i corsi d'acqua a generare un reticolo di drenaggio tipicamente angolare. I principali corsi d'acqua sono ubicati in corrispondenza di importanti elementi strutturali che si seguono per più ampie aree della Sardegna nord-orientale.

L'area oggetto dell'intervento in progetto risulta completamente antropizzata e le forme del paesaggio sono completamente obliterate dall'attività antropica.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO


Nell'area in studio prevalgono i terreni a medio-bassa permeabilità. I litotipi che caratterizzano l'area in esame comprendono principalmente monzograniti, granodioriti e leucograniti. Queste litologie possono essere raggruppate in un'unica associazione a formare un "complesso di rocce granitoidi" affini per caratteristiche idrogeologiche.

È un complesso a permeabilità bassa per fessurazione. Tuttavia, come già accennato nella parte relativa al contesto geologico, i leucograniti hanno risentito maggiormente dei fenomeni tettonici succedutisi nelle ere geologiche: sono interessati da sistemi di fratture e faglie più importanti; di conseguenza è auspicabile che nel loro ambito si possano formare acquiferi profondi di discreta entità. Le coltri di granito arenizzato che si formano nei compluvi, nelle zone vallive e nelle aree subpianeggianti sono caratterizzate da permeabilità medio-alta per porosità. Gli acquiferi che si generano sono, solitamente, di scarsa entità.

Il complesso alluvionale quaternario è caratterizzato da elevata permeabilità per porosità negli orizzonti più grossolani e dilavati (alluvioni recenti), che diventa bassa negli orizzonti prettamente argillosi o in matrice argillosa (alluvioni antiche) e detriti di falda.

Se nei graniti arenizzati ed anche in quelli molto alterati la presenza dell'acqua è legata anche all'esistenza di una porosità, nel granito sano essa è attribuibile solo alle numerosissime fratture che lo hanno scomposto sia secondo piani verticali o sub verticali variamente orientati sia secondo piani sub-orizzontali. Non è da escludere che in profondità, al di sotto del granito sano affiorante, vi siano delle tasche sabbiose formatesi per alterazione di brecce tettoniche, analogamente a quanto si è osservato altrove in Sardegna.

L'idrografia della zona in esame è costituita principalmente da piccoli compluvi, per lo più a carattere stagionale, fortemente influenzati dal regime delle piogge. Il corso d'acqua più importante, presente nelle vicinanze, è il Rio Surrau: esso ha un regime idrologico fortemente influenzato dall'andamento delle piogge, con piene nel periodo inverno-primavera, e secche estive. Durante il periodo delle piogge viene aperto il cordone litorale (Spiaggia de "LA Sciumara") permettendone lo scarico a mare. L'area in studio è compresa nel sub-bacino Regionale n° 4: Liscia. Altri compluvi, presenti nei dintorni, sempre a carattere stagionale, hanno direzioni che seguono le direzioni principali e secondarie della tettonica locale: principali N-S, pur con discrete oscillazioni da NNE-SSW a NNW-SSE, e E-W, anche queste con discrete variazioni da ENE-WSW a ESE-WNW.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

5. CARTOGRAFIA DELLA PERICOLOSITÀ E DEI VINCOLI TERRITORIALI

5.1 Vincolo idrogeologico

In riferimento a quanto riportato nella cartografia del Geoportale del Comune di Palau (Figura 5-1), l'area di studio non è classificata tra quelle soggette a vincolo idrogeologico ai sensi del RDL n.3267 del 30/12/1923.

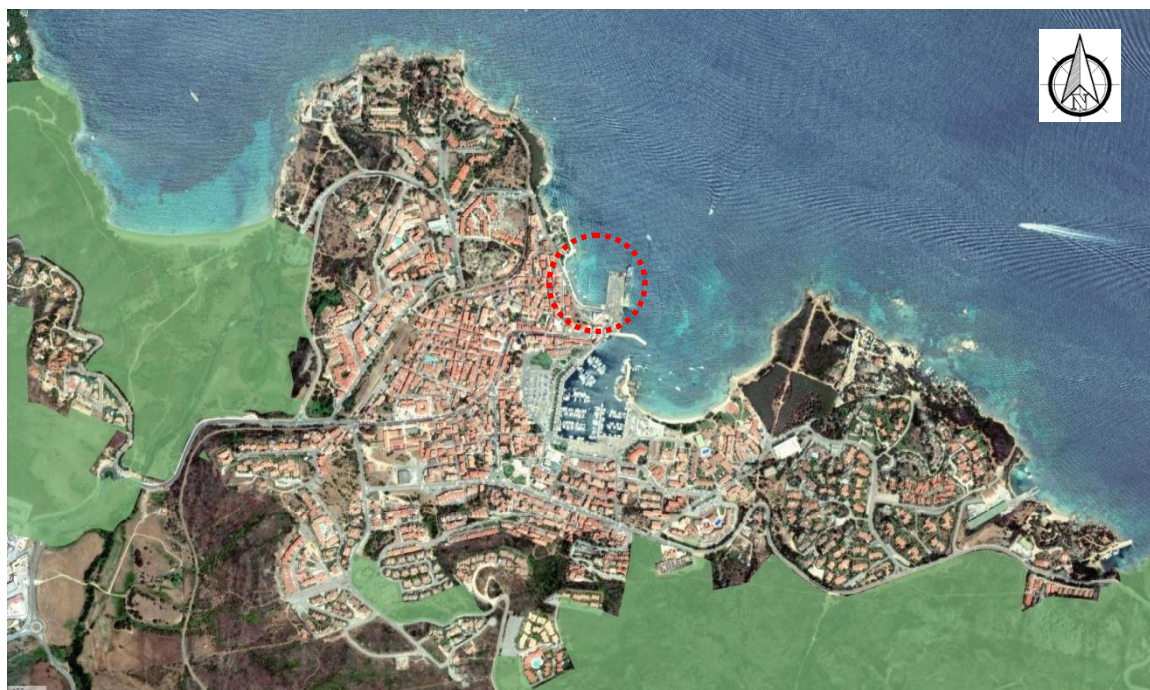



Figura 5-1: Cartografia del vincolo idrogeologico (da www.urbismap.com; non in scala). in rosso, l'area di studio

5.2 Pericolosità geomorfologica ed idraulica

Per quanto riguarda la valutazione della pericolosità geomorfologica e idraulica sono stati analizzati i seguenti documenti, disponibili sul web-gis della Regione Sardegna (<http://www.sardegnageoportale.it/webgis2/sardegnamappe/?map=pai>):

- Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), Perimetrazioni delle aree caratterizzate da rischio idraulico mappate in ambito P.A.I. aggiornate alla data del 31/01/2018;
- Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (PSFF), Perimetrazioni delle aree caratterizzate da pericolosità idraulica. aggiornate alla data del 17.12.2015.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

Per quanto riguarda il rischio idraulico, si riportano in Figura 5-2 e Figura 5-3 rispettivamente la cartografia della pericolosità idraulica del PAI e la cartografia del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali.



Figura 5-2: Stralcio della cartografia della pericolosità idraulica del PAI (non in scala). In rosso l'area di studio


	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021




Figura 5-3: Cartografia del Piano Stralcio delle Fasce Fluviali (non in scala). In rosso l'area di studio

Nella cartografia della pericolosità idraulica sono definiti quattro livelli di pericolosità H_i , definiti per differenti periodi di ritorno; in particolare:

- H_{i1} (pericolosità bassa): area a bassa probabilità di inondazione, allagabile con portata con tempo di ritorno superiore a 200 anni;
- H_{i2} (pericolosità moderata): area a moderata probabilità di inondazione, allagabile con portata con tempo di ritorno compreso tra 100 e 200 anni;
- H_{i3} (pericolosità alta): area ad alta probabilità di inondazione, allagabile con portata con tempo di ritorno compreso tra 50 e 100 anni
- H_{i4} (pericolosità molto alta): area a molto alta probabilità di inondazione, allagabile con portata con tempo di ritorno inferiore a 50 anni.

Nella cartografia del PSFF sono definite cinque fasce di inondazione, definite per differenti periodi di ritorno; in particolare:

- A_2 tempo di ritorno $T_r = 2$ anni;
- A_{50} tempo di ritorno $T_r = 50$ anni;
- B_{100} tempo di ritorno $T_r = 100$ anni;
- B_{200} tempo di ritorno $T_r = 200$ anni;

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

- C tempo di ritorno $T_r = 500$ anni o superiore, comprensiva di eventi eccezionali e aree storicamente inondate e individuate con analisi geomorfologica.

L'area oggetto di intervento non è caratterizzata da pericolosità idraulica e non è cartografata all'interno di alcuna delle fasce fluviali definite.

Per quanto riguarda il rischio geomorfologico, si riporta in Figura 5-4 la cartografia della pericolosità geomorfologica del PAI. Nella cartografia sono definiti cinque livelli di pericolosità H_i , definiti per differenti periodi di ritorno; in particolare:

- Hg0 (pericolosità nulla): aree non soggette a fenomeni franosi con pericolosità assente e con pendenze $< 10\%$;
- Hg1 (pericolosità moderata): aree con pericolosità assente o moderata e con pendenze comprese tra il 20% ed il 35%, con copertura boschiva limitata o assente; aree con copertura boschiva con pendenze $> 35\%$;
- Hg2 (pericolosità media): aree con pericolosità media, con fenomeni di dilavamento diffusi, frane di crollo e/o scivolamento non attive e/o stabilizzate, con copertura boschiva rada o assente e con pendenze comprese tra 35% e 50%, falesie lungo le coste;
- Hg3 (pericolosità elevata): aree con pericolosità elevata con pendenze $> 50\%$ ma con copertura boschiva rada o assente; frane di crollo e/o scorrimento quiescenti, fenomeni di erosione delle incisioni vallive. Fronti di scavo instabili lungo le strade; aree nelle quali sono in attività o sono state svolte in passato attività minerarie che hanno dato luogo a discariche di inerti, cave a cielo aperto, cavità sotterranee con rischio di collasso del terreno e/o subsidenza; aree interessate in passato da eventi franosi nelle quali sono stati eseguiti interventi di messa in sicurezza;
- Hg4 (pericolosità molto elevata): aree con pericolosità molto elevata con manifesti fenomeni di instabilità attivi o segnalati.



	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021



Figura 5-4: Stralcio della cartografia della pericolosità geomorfologica del PAI (non in scala). In rosso l'area di studio

L'area oggetto di intervento non è caratterizzata da pericolosità geomorfologica.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

6.1 Indagini geognostiche

6.1.1 Premessa

I dati geognostici a supporto del presente studio derivano dalle risultanze della campagna di indagini geognostiche realizzata nel mese di ottobre 2019 e dalla successiva campagna di indagini integrative realizzata nel mese di giugno del 2020, entrambe effettuate da Si.Ar Trivellazioni. Sono poi state consultate le indagini eseguite durante la campagna indagini realizzata nel 1994 nell'ambito dei lavori di completamento del porto di Palau, in particolare della realizzazione del nuovo sporgente a mare per l'ampliamento della banchina esistente.

6.1.2 Campagna indagini integrative 2020

Nell'area di intervento, durante la campagna di indagini integrative 2020 sono stati realizzati:

- n.3 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 51m dal fondale marino. Durante le operazioni di perforazione sono state effettuate le seguenti attività:
 - rilievo della stratigrafia con esecuzione di prova speditiva di consistenza (PP);
 - esecuzione di n.12 prove totali in foro di tipo SPT per sondaggio;
 - prelievo di totale n.14 campioni rimaneggiati sottoposti a prove di laboratorio geotecnico;

Nella Tabella 6-1 si riporta l'elenco delle indagini geognostiche con le relative informazioni principali, in Tabella 6-2 una sintesi delle prove in foro SPT realizzate ed in Tabella 6-2 l'elenco dei campioni rimaneggiati prelevati con le relative prove di laboratorio geotecnico eseguite. Per i rapporti di prova si faccia riferimento all'allegato 1 "Report delle indagini geognostiche integrative"

Tabella 6-1: Riepilogo delle indagini svolte durante la campagna indagini integrative 2020

ID prova	Batimetria [m]	Profondità [m da fondale marino]	Data di esecuzione
BH8	-14.50	51.00	09-10.06.2020
BH9	-7.50	28.00	11.06.2020
BH10	-4.00	12.00	11.06.2020



	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

Tabella 6-2: Sintesi delle prove SPT effettuate

Sondaggio	Profondità prova [m]	N _{SPT}
BH8	1.70	2
BH8	4.00	2
BH8	5.50	4
BH8	7.00	21
BH8	9.50	35
BH9	3.00	7
BH9	6.00	6
BH9	9.00	29
BH9	12.00	16
BH9	15.00	>50
BH9	18.50	>50
BH10	3.00	10

Tabella 6-3: Riepilogo delle prove di laboratorio geotecnico eseguite sui campioni rimaneggiati prelevati durante la campagna indagini integrative 2020

Sondaggio	Camp.	Prof. [m da fondale marino]	Peso spec. grani	Analisi granul.	Conten. acqua	Limiti	PLT	ELL
BH8	1	2.50-2.70	X	X	X	X		
BH8	2	6.50-7.00	X	X	X	X		X
BH8	3	12.70-13.00	X	X	X	X		
BH8	4	17.00-17.50	X	X	X	X		X
BH8	5	21.50-21.80	X	X	X	X		
BH8	6	24.60-24.80	X	X	X	X		
BH8	7	27.20-27.50	X	X	X	X		
BH8	8	32.30-32.60	X	X	X	X		

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

Sondaggio	Camp.	Prof. [m da fondale marino]	Peso spec. grani	Analisi granul.	Conten. acqua	Limiti	PLT	ELL
BH9	1	14.50 -15.00	X	X	X	X		X
BH9	2	17.00 -17.30	X	X	X	X		
BH9	3	25.00 -25.30					X	
BH9	4	27.60 -28.00					X	
BH10	1	3.60- 4.00	X	X	X	X		X
BH10	3	11.00 -11.30					X	

6.1.3 Campagna indagini 2019


Nell'area di intervento, durante la campagna di indagini 2019 sono stati realizzati:

- n.7 sondaggi stratigrafici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità massima di 26.50m dal fondale marino. Durante le operazioni di perforazione sono state effettuate le seguenti attività:
 - rilievo della stratigrafia con esecuzione di prova speditiva di consistenza (PP);
 - esecuzione di n.26 prove totali in foro di tipo SPT per sondaggio;
 - prelievo di totale n.40 campioni rimaneggiati sottoposti a prove di laboratorio geotecnico;

Nella Tabella 6-4 si riporta l'elenco delle indagini caratteristiche con le relative informazioni principali, in Tabella 6-5 una sintesi delle prove in foro SPT realizzate ed in Tabella 6-6 l'elenco dei campioni rimaneggiati prelevati con le relative prove di laboratorio geotecnico eseguite. Per i rapporti di prova si faccia riferimento all'allegato 2 "Report delle indagini geognostiche".

Tabella 6-4: Riepilogo delle indagini svolte durante la campagna indagini 2019


ID prova	Batimetria [m]	Profondità [m da fondale marino]	Data di esecuzione
BH1	-14.50	13.50	Ottobre 2019
BH2	-12.50	11.50	Ottobre 2019

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

ID prova	Batimetria [m]	Profondità [m da fondale marino]	Data di esecuzione
BH3	-10.00	21.00	Ottobre 2019
BH4	-9.00	15.00	Ottobre 2019
BH5	-9.50	26.50	Ottobre 2019
BH6	-10.40	16.60	Ottobre 2019
BH7	-11.50	20.00	Ottobre 2019

Tabella 6-5: Sintesi delle prove SPT effettuate


Sondaggio	Profondità prova [m]	N _{SPT}
BH1	15.50	2
BH1	17.00	2
BH1	18.60	3
BH1	20.00	22
BH1	21.50	>50
BH2	15.50	2
BH2	17.50	33
BH2	20.00	44
BH2	21.50	>50
BH3	13.00	-
BH3	16.00	23
BH3	19.00	38
BH3	22.00	>50
BH3	26.00	>50
BH4	12.00	2
BH4	15.00	4
BH4	18.00	>50

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021


Sondaggio	Profondità prova [m]	N _{SPT}
BH5	12.50	1
BH5	15.50	6
BH5	18.00	41
BH5	20.00	62
BH5	23.00	>50
BH6	16.00	66
BH7	13.50	-
BH7	16.50	28
BH7	21.50	>50

Tabella 6-6: Riepilogo delle prove di laboratorio geotecnico eseguite sui campioni rimaneggiati prelevati durante la campagna indagini 2019


Sondaggio	Camp.	Prof. [m da livello medio mare]	Peso spec. grani	Analisi granul.	Conten. acqua	Limiti	PLT	ELL
BH1	1	15.20-15.50						
BH1	2	17.70-18.00		X				
BH1	3	19.70-20.00						
BH1	4	20.20-20.50						
BH1	5	21.80-22.00					X	
BH1	6	27.50-28.00						
BH2	1	13.30-13.50						
BH2	2	15.20-15.50		X				
BH2	3	17.70-18.00						
BH2	4	19.00-						

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

Sondaggio	Camp.	Prof. [m da livello medio mare]	Peso spec. grani	Analisi granul.	Conten. acqua	Limiti	PLT	ELL
		19.30						
BH2	5	22.50-22.80						
BH2	6	23.70-24.00						
BH3	1	12.70-13.00		X				
BH3	2	18.70-19.00						
BH3	3	24.70-25.00						
BH4	1	11.70-12.00						
BH4	2	14.70-15.00		X				
BH4	3	15.80-16.00						
BH4	4	20.30-20.50						
BH4	5	23.70-24.00						
BH5	1	14.00-14.30		X				
BH5	2	20.70-21.00						
BH5	3	21.50-21.80						
BH5	4	28.70-29.00						
BH5	5	30.70-31.00						
BH5	6	33.70-34.00		X				
BH5	7	35.60-36.00					X	
BH6	1	12.70-13.00						
BH6	2	15.50-15.80						
BH6	3	18.00-18.30						
BH6	4	20.00-					X	

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

Sondaggio	Camp.	Prof. [m da livello medio mare]	Peso spec. grani	Analisi granul.	Conten. acqua	Limiti	PLT	ELL
		20.50						
BH7	1	13.20-13.50						
BH7	2	16.20-16.50						
BH7	3	18.50-18.70						
BH7	4	21.20-21.50						
BH7	5	23.50-23.80						
BH7	6	26.20-26.50						
BH7	7	28.20-28.50		X				
BH7	8	31.20-31.50		X				

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

6.1.4 Campagna indagini 1994

Nel 1994, sono state realizzate da ICOS-SICAPI S.p.A. nell'ambito dei lavori di completamento del porto di Palau, in particolare della realizzazione del nuovo sporgente a mare per l'ampliamento della banchina esistente le seguenti indagini:

- n. 4 sondaggi stratigrafici spinti a profondità comprese tra 17.8 e 23.5 metri a partire dalla quota della banchina esistente. Durante la perforazione sono state eseguite le seguenti attività:
 - descrizione della stratigrafia;
 - esecuzione di n.6 prove in foro di tipo SPT.
- n. 2 prove penetrometriche dinamiche tipo SCPT spinte alla profondità di 15.8 e 16.5 metri, eseguita in corrispondenza dei sondaggi n.1 e n.4 e realizzata con un preforo rispettivamente di 8.5 e 10.5 metri per superare lo spessore della banchina portuale esistente.


Per i rapporti di prova si faccia riferimento all'allegato 3 "*Report delle indagini geognostiche del 1994*".

6.2 Indagini geofisiche

I dati geofisici disponibili per questo lavoro derivano da una campagna indagini svolta per la presente fase progettuale da GEO3 s.a.s. nel 2019; questa ha previsto l'esecuzione di:

- N.3 stendimenti (T1.T2 e T3) di sismica a rifrazione realizzati sia su asse banchina che su fondale marino.

Per i rapporti di prova e l'ubicazione delle indagini si faccia riferimento all'allegato 4 "*Report delle indagini geofisiche*".

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

7. MODELLO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

In riferimento alle condizioni geologiche delle aree, alle indagini geognostiche in sito ed alle prove di laboratorio geotecnico descritte in precedenza, sono stati ricostruiti i modelli stratigrafici di riferimento, riportati nella tavola "Planimetria delle indagini geognostiche e sezioni stratigrafiche"; essi prevedono le seguenti unità stratigrafiche:

Depositi di fondo mare – riporto:

- *Unità R:* Materiale di riempimento eterogeneo ed eterometrico con presenza di massi di scogliera

Depositi quaternari marini


- *Unità 1:* Materiale di riempimento di fondo mare omogeneo a litologia prevalentemente argillosa con frustoli vegetali a bassa o molto bassa consistenza;
- *Unità 2:* Sabbia limosa e sabbia quarzoso micacea dal colore variabile dal grigio al rossastro. Abbondanti resti vegetali, locali intervalli a litologia più fine costituiti da limo sabbioso e limo argilloso. Localmente presenti massi erranti a composizione granitica:

Depositi del substrato

- *Unità 3:* Granito lapideo con grado di alterazione da alto a molto alto, colore variabile dal grigio al rossastro;
- *Unità 4:* Granito lapideo intatto.

7.1 Descrizione dei profili stratigrafici

I profili stratigrafici realizzati mostrano una distribuzione disomogenea delle unità sopra descritte. Al di sotto di uno spessore variabile dai 4 ai 6 metri dell'unità 1 costituita dalle argille a bassa consistenza, si trovano sabbie quarzose a grana grossolana le quali potrebbero essere considerate il prodotto ultimo di alterazione del substrato granitico (unità 2), queste sono trasportate dalle correnti marine che le distribuiscono omogeneamente in tutta l'area indagata. Le sabbie poggiano sul granito alterato ma ancora a comportamento lapideo (unità 3), questo ha uno spessore estremamente variabile, dai 3-4 metri a oltre 20m. Il tetto dell'unità lapidea intatta (unità 4) è stato tracciato grazie all'interpretazione dei sondaggi stratigrafici realizzati (nei casi in cui questi fossero sufficientemente profondi) e con l'interpretazione delle sezioni sismiche a rifrazione.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

8.1 Unità terrigene

8.1.1 Peso unità di volume ed umidità naturale

Nelle seguenti Figura 8-1 e Figura 8-2 vengono riportate le determinazioni del peso unità di volume secco* e dell'umidità naturale.

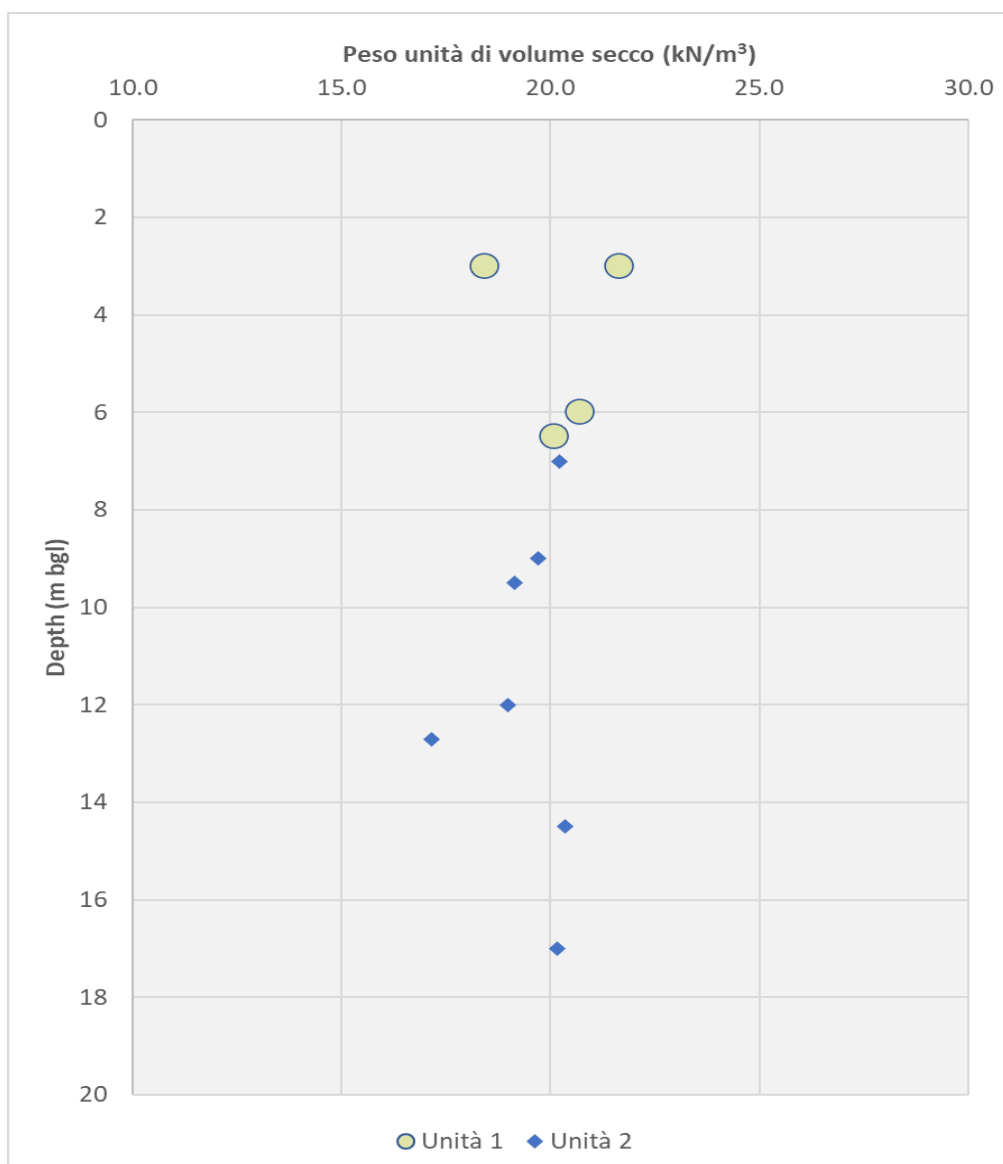


Figura 8-1: Peso unità di volume secco (γ_s) da laboratorio

*Il Parametro γ_s è stato ricavato utilizzando la seguente relazione:

$$\gamma_s = (G / (1 + Wg)) \gamma_w$$

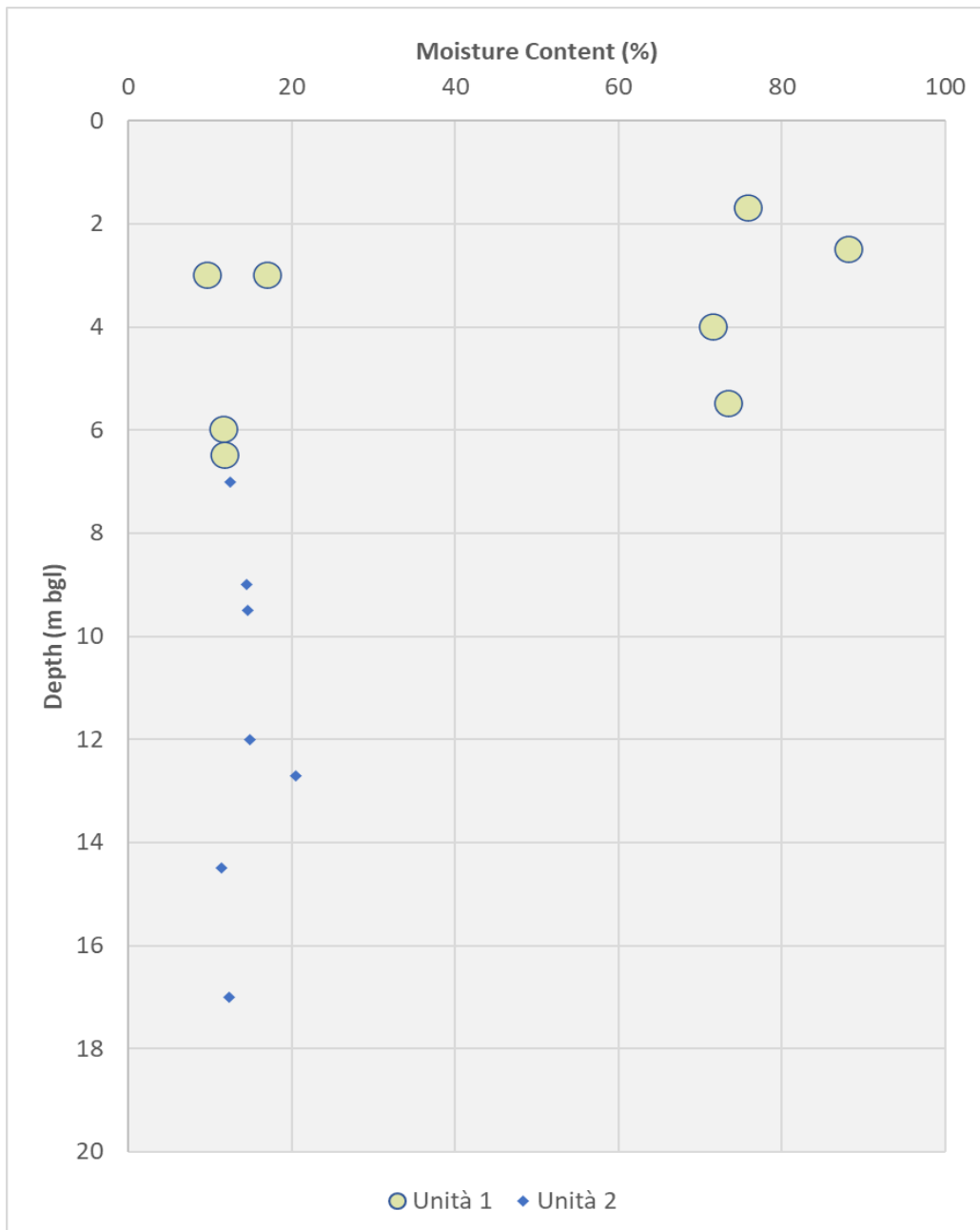



Figura 8-2: Umidità naturale da laboratorio.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021


8.1.2 Distribuzione granulometrica

Nella seguente Tabella 8-1 vengono riportati i risultati da analisi granulometrica di laboratorio, secondo le frazioni granulometriche principali sui campioni prelevati.

Tabella 8-1: Distribuzione granulometrica su campioni prelevati

Sondaggio / Campione	Unità	Profondità [m da fondale]	Ghiaia [%]	Sabbia [%]	Limo [%]	Argilla [%]
BH1/2	1	3.2	4	34	56	6
BH2/1	1	2.1	4	36	52	8
BH3/1	1	3.7	4	32	58	6
BH4/2	1	7.5	8	22	60	10
BH5/1	1	6.5	8	22	62	8
BH8/1	1	2.5	6	60	28	6
BH8/2	1	6.5	22	50	16	12
BH8/3	2	12.7	34	66	-	-
BH8/4	2	17.0	50	38	8	4
BH8/SPT1*	1	1.70	4	58	32	6
BH8/SPT2*	1	4.0	6	38	48	10
BH8/SPT3*	1	5.5	4	52	38	6
BH8/SPT4*	2	7.0	42	58	-	-
BH8/SPT5*	2	9.5	42	58	-	-
BH9/1	2	14.5	20	66	8	6
BH9/SPT1*	1	3.0	40	60	-	-
BH9/SPT2*	1	6.0	64	36	-	-
BH9/SPT3*	2	9.0	64	36	-	-
BH9/SPT4*	2	12.0	34	46	12	8
BH10/1	1	3.6	16	64	16	4
BH10/SPT1*	1	3.0	50	36	10	4

*N.B. Alcune analisi granulometriche sono state eseguite sui campioni prelevati dopo aver eseguito la prova in foro tipo SPT (*Standard penetration test*).


	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.1.3 Limiti di Atterberg

I limiti di Atterberg sono stati determinati su un solo campione terrigeno e i risultati ottenuti sono riportati nella seguente Tabella 8-2.

Tabella 8-2 Limiti di Atterberg

BH/Camp.	Profondità [m da fondale]	Limite Liquido LL [%]	Limite Plastico LP [%]	Indice Plastico IP [%]
BH8/2	6.5	41.57	20.97	20.60

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.1.4 Parametri di stato iniziale

8.1.4.1 Densità relativa

La densità relativa è stata stimata dalle prove SPT per mezzo della correlazione di Skempton (1986). In Figura 8-3si riportano i dati correlati con la profondità.

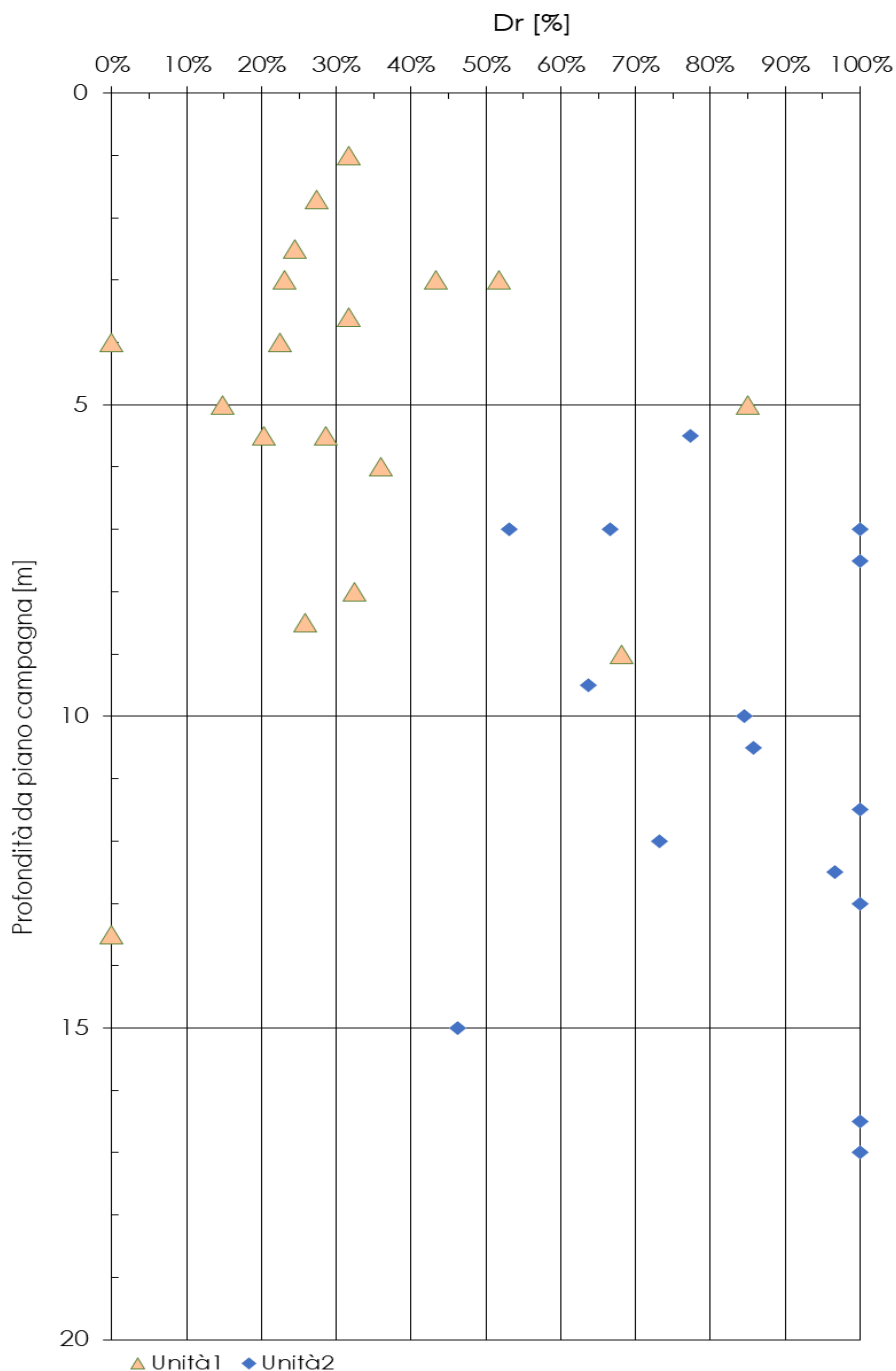



Figura 8-3: Densità relativa da standard penetration test.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.1.4.2 Indice dei vuoti

La determinazione dell'indice dei vuoti (e) è stata effettuata su di un solo campione ()

BH/Camp.	Profondità [m da fondale]	Indice dei vuoti e (-)
BH8/4	17.00	0.40

8.1.5 Caratteristiche di resistenza al taglio


8.1.6 Condizioni non drenate (unità coesive)

Il valore di resistenza al taglio in condizioni non drenate "Cu" per l'unità coesiva (unità 1) è stato stimato, considerati i dati disponibili, partendo dalle risultanze delle prove speditive di consistenza (PP) effettuate durante l'esecuzione dei sondaggi sugli intervalli stratigrafici appartenenti all'unità 1 e di seguito riportati in Tabella 8-3.

Tabella 8-3: Risultati delle prove speditive PP

Sondaggio	Profondità [m da fondale]	PP [kg/cm ²]*
BH1	2	0.9
BH1	3.5	1.6
BH2	3	6.1
BH4	4.3	3.7
BH5	5	1.75
BH5	6.8	8.5
BH6	5.6	1.75
BH8	0.5	0.1
BH8	2	0.35
BH8	3.3	0.9
BH8	4.7	0.3
BH9	8.75	1
BH10	1.5	0.2
BH10	2.5	0.1

*media di più misure effettuate sullo stesso livello stratigrafico

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

Utilizzando la relazione:

$C_u = 2xPP$, si ottiene:

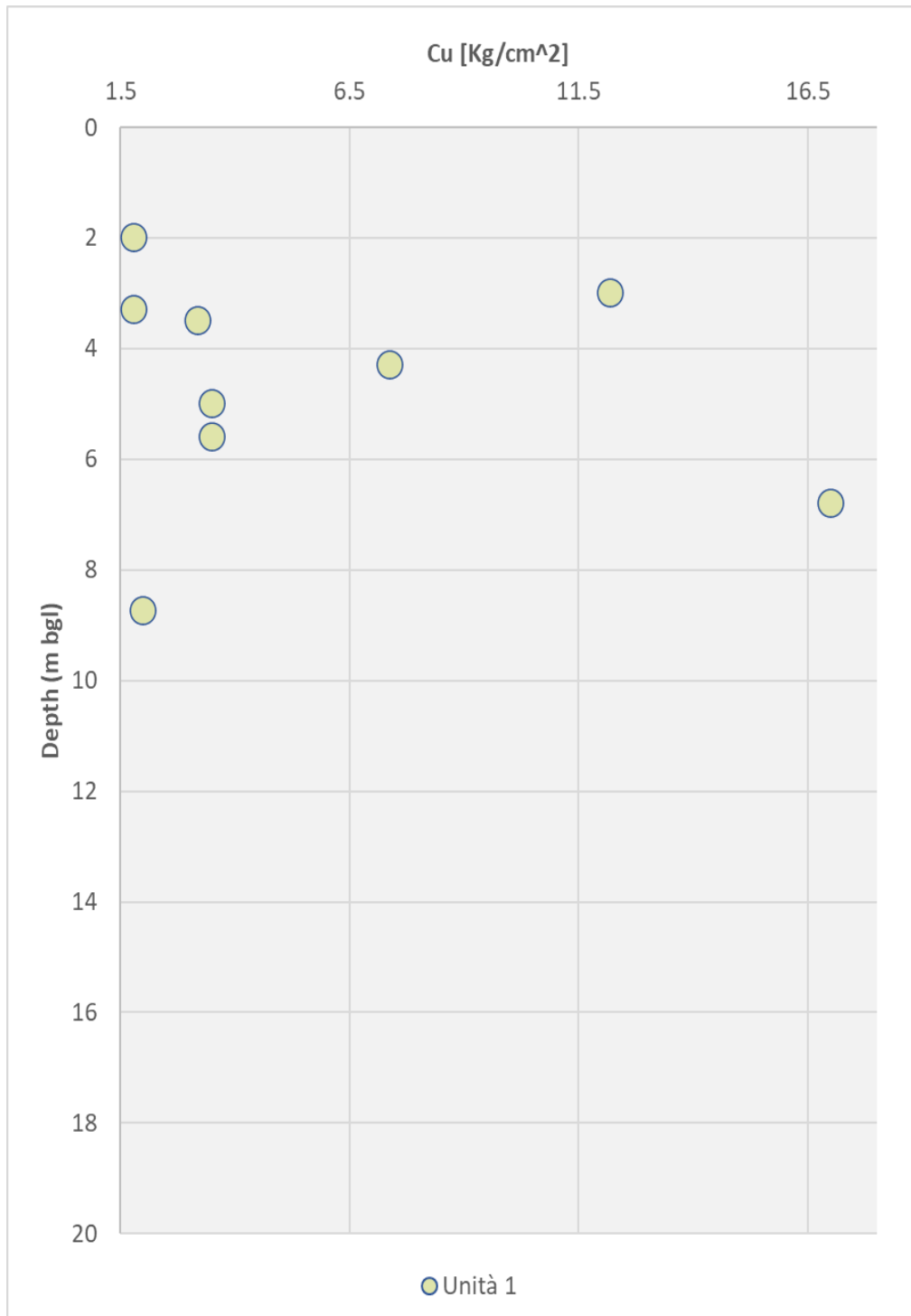



Figura 8-4: Resistenza al taglio non drenata per l'Unità 1 da Prove di consistenza speditive.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.1.7 Condizioni drenate

8.1.7.1 Unità incoerenti 11.5

La valutazione dell'angolo di resistenza a taglio di picco per le unità incoerenti è stata possibile mediante l'interpretazione dei dati SPT con l'abaco di Schmertmann (1978). In Figura 8-5 sono riportati i valori correlati in funzione della profondità

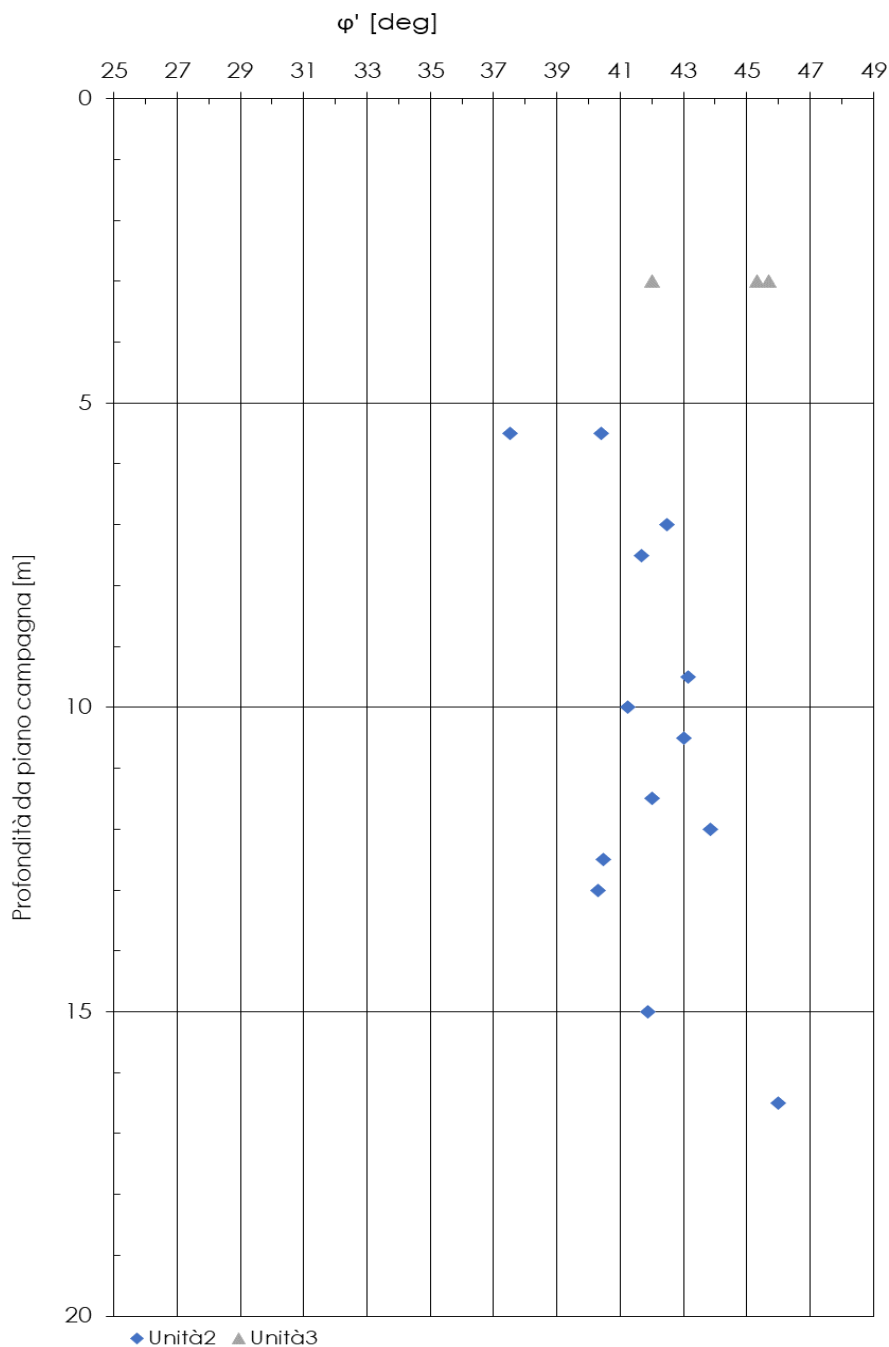



Figura 8-5: Angolo di resistenza a taglio di picco da prove SPT.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.1.8 Caratteristiche di deformabilità

La valutazione del modulo elastico è stata effettuata interpretando le indagini di laboratorio e facendo riferimento a precedenti esperienze sui terreni locali.

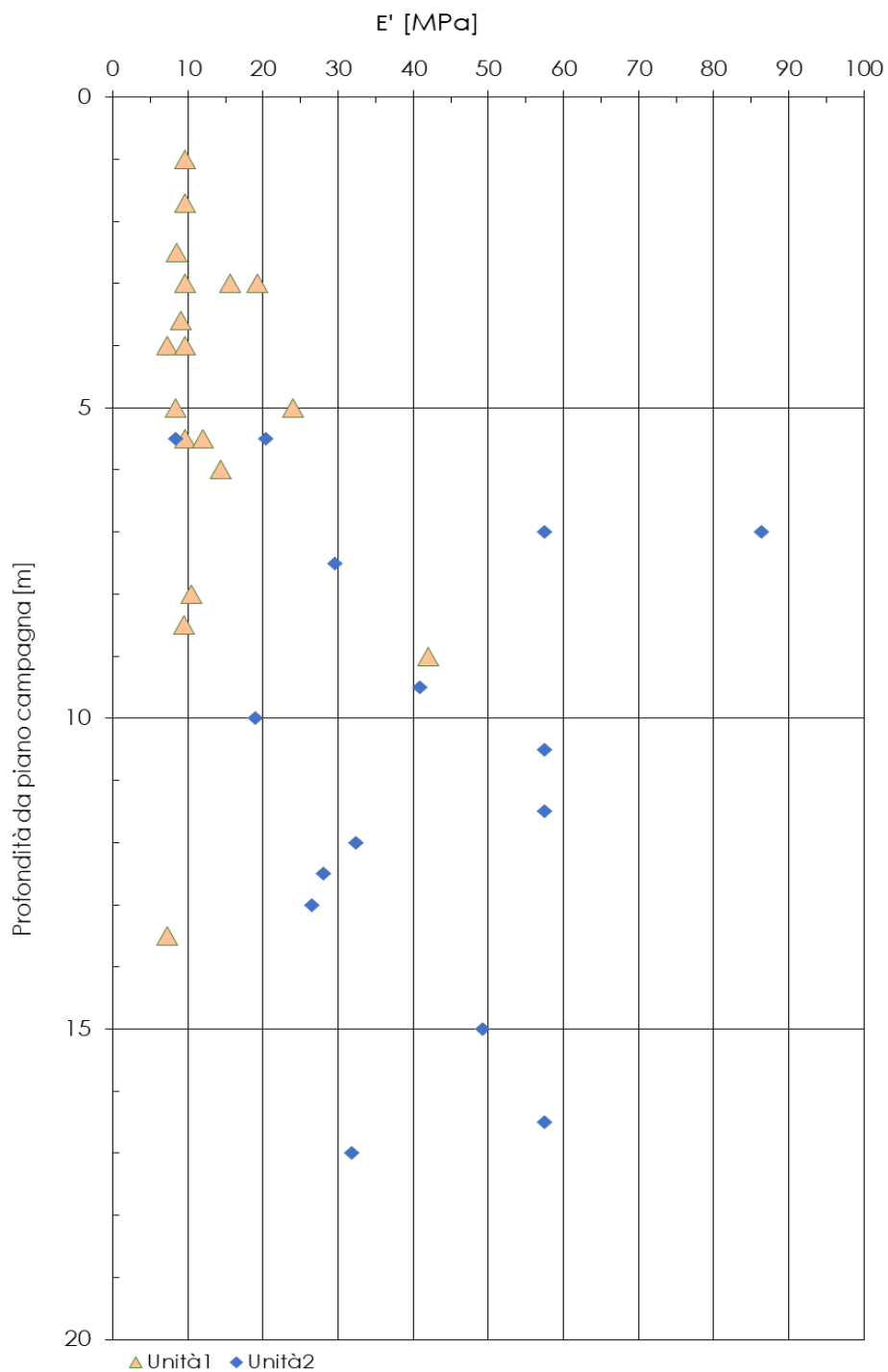



Figura 8-6: Stima del modulo elastico

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.2 Unità litoidi

I risultati delle indagini di laboratorio effettuate sui provini litoidi riportano risultati in termini di resistenza a compressione non validi ai fini della stima delle condizioni reali della roccia intatta. Gli scriventi hanno provveduto a prelevare altro materiale litoide, il quale, sottoposto a prove di compressione ha fornito i risultati indicati in Tabella 8-4

Tabella 8-4: risultati prove aggiuntive di compressione sul materiale litoide


Campione [m da fondale]	D [mm]	H [mm]	Fmax [N]	Qc [MPa]	Commenti
<i>BH6 (23-23.4)</i>	84.1	127.9	767300	138.1	fratturato
<i>BH6 (23.5-23.7)</i>	84.1	163.2	956700	172.2	-
<i>BH6 (23.7-23.9)</i>	38.1	94	178290	156.4	-
<i>BH6 (26-26.3)</i>	84.1	164.1	766100	137.9	-
<i>BH6 (26.3-26.5)</i>	84.1	142.5	568000	102.3	fratturato
<i>BH9 (27.6-27.8)</i>	38.1	75.7	57430	50.4	fratturato
<i>BH9 (27.8-28)</i>	38.1	76.6	58710	51.5	fratturato

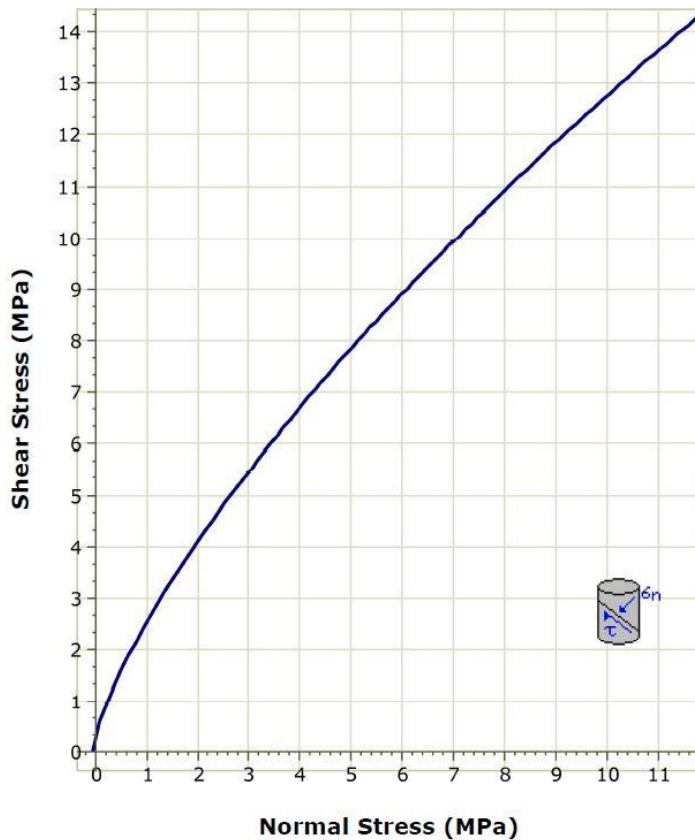
Alla luce dei risultati ottenuti, per la caratterizzazione dell'ammasso roccioso, sono stati scartati i campioni prelevati dal sondaggio BH6 in quanto il materiale lapideo da esso intercettato si trovava in condizioni nettamente diverse da quello intercettato (roccia intatta, non alterata, poco fratturata) dagli altri sondaggi, preso atto anche del fatto che fosse geograficamente lontano dagli altri e che quindi la sua condizione non fosse rappresentativa del materiale di substrato dell'area oggetto di studio.

La caratterizzazione è stata effettuata con il metodo di classificazione "Hoek Brown" tramite l'utilizzo del software "RocData" di Rocscience Inc. versione 5.013.

I dati di input ed i relativi risultati dell'elaborazione sono riportati in Figura 8-7.


Il metodo di classificazione Hoek-Brown è stato utilizzato solo per la definizione dei parametri geotecnici dell'Unità 4 in quanto materiale lapideo intatto; la caratterizzazione dell'Unità 3 è derivata dall'interpretazione dei risultati delle prove SPT effettuate negli orizzonti stratigrafici appartenenti a questa unità (come riportato al capitolo 6) trattandosi di blocchi e sabbie granitiche risultanti dall'alterazione dell'unità 4.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021



Granito Palau intatto	
Hoek Brown Classification	
intact uniaxial compressive strength	50 MPa
GSI	60
mi	29
disturbance factor	0.3
intact modulus	15000 MPa
modulus ratio	300
Hoek Brown Criterion	
mb	5.401
s	0.007
a	0.503
Failure Envelope Range	
application	custom
sig3max	5 MPa
Mohr Coulomb Fit	
cohesion	1.939 MPa
friction angle	48.168 deg
Rock Mass Parameters	
tensile strength	-0.066 MPa
uniaxial compressive strength	4.174 MPa
global strength	15.66 MPa
modulus of deformation	5388.909 MPa

Figura 8-7: Caratterizzazione Unità 4 con il metodo "Hoek-Brown" - "RocData" di Rocscience Inc. versione 5.013.

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.3 Parametri geotecnici caratteristici


8.3.1 Unità terrigene

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni descritti al capitolo precedente, nella fattispecie l'unità 1, si è fatto riferimento ai risultati delle indagini in sito; si segnala che laddove queste non abbiano fornito dati sufficienti, si è fatto riferimento a quanto disponibile dalla bibliografia e/o a dati acquisiti da pregresse esperienze su terreni analoghi.

I parametri di seguito riportati (Tabella 8-5) sono da intendersi come medi operativi. Si segnala che, a causa della naturale variabilità dei terreni, tali parametri possono essere localmente diversi da quelli indicati.

Tabella 8-5: Parametri geotecnici delle unità terrigene

Parametro geotecnico	Unità 1	Unità 2
C_u [kPa]	12	-
φ' [°]	23	36-37
c' [kPa]	-	-
γ [kN/m ³]	16	20
E [Mpa]	3	4

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

8.3.2 Unità litoidi


Un ammasso roccioso è costituito da blocchi di materiale roccioso integro separati da giunti e/o da discontinuità. Il suo comportamento meccanico dipende, quindi, sia dalle proprietà meccaniche del materiale roccioso intatto sia dalle caratteristiche delle discontinuità.

Per la caratterizzazione delle unità litoidi descritte al capitolo precedente, si è fatto riferimento alle prove geotecniche effettuate dagli scriventi, a dati bibliografici e ad esperienze pregresse su materiali analoghi.

I parametri di seguito riportati (Tabella 8-6) sono da intendersi come medi operativi. Si segnala che, a causa della naturale variabilità della distribuzione del corpo roccioso, tali parametri possono essere localmente diversi da quelli indicati.

Tabella 8-6: Parametri geotecnici delle unità di substrato alterato e di substrato

Parametro geotecnico	Unità 3	Unità 4
$\varphi' [^\circ]$	42	45
$c' [kPa]$	15	1000
$\gamma [kN/m^3]$	21	26
E	100[Mpa]	1 [GPa]

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

9. ELEMENTI DI SISMICITÀ

9.1 Classificazione sismica e pericolosità sismica di base

La classificazione sismica del territorio nazionale è stata elaborata e rivista in seguito ai principali terremoti; tra questi, in particolare, quelli verificatisi in Irpinia nel 1980 ed in Molise nel 2002.

Fino al 2003 il territorio nazionale era classificato in tre categorie sismiche a diversa severità. I Decreti Ministeriali emanati dal Ministero dei Lavori Pubblici tra il 1981 ed il 1984 avevano classificato complessivamente 2.965 comuni italiani su di un totale di 8.102, che corrispondono al 45% della superficie del territorio nazionale, nel quale risiede il 40% della popolazione; la sismicità era definita attraverso il grado di sismicità "S". In queste classificazioni il Comune di Palau non era considerato zona sismica.


Per quanto concerne la classificazione sismica del territorio in esame, come indicato nella Delibera di Giunta regionale n. 15/31 del 30 marzo 2004, trova attuazione la classificazione stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n.3274/2003, la quale suddivide il territorio nazionale in quattro zone caratterizzate da diverso grado di sismicità e sottoposte alle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Le zone sono definite rispettivamente ad alta sismicità la zona 1, a media sismicità la zona 2 e a bassa sismicità la zona 3, mentre nella zona 4 viene demandata alle regioni la facoltà di imporre o meno l'obbligo della normativa.

Come stabilito della D.G.R. n.15/31, il Comune di Palau risulta classificato in zona "4".

Rispetto alla classificazione sismica del comune di Palau ed in base alla mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (O.P.C.M. 28/04/2006 n.3519), il range di accelerazione massima del suolo, con probabile eccedenza del 10% in 50 anni, nell'area in studio è inferiore a 0.05 (Tabella 9-1).

Tabella 9-1: Valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferito a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s,30} > 800$ m/s

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g/g)	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche, a_g/g)
1	> 0.25	0.35
2	0.15 ÷ 0.25	0.25
3	0.05 ÷ 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

9.2 Sismicità storica

Al fine di inquadrare dal punto di vista della sismicità storica l'area in esame, si riporta di seguito un riepilogo delle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del danno che hanno interessato storicamente il Comune di Palau.

Nello specifico, le informazioni riportate di seguito derivano dalla consultazione del DBMI15 (Locati et al., 2016), il database macrosismico utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani CPTI15 (Rovida et al., 2016, consultabile on-line al sito <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15>)

Nella successiva Figura 9-1 sono indicati con i seguenti simboli:

- Is = intensità in sito (MCS);
- Anno = anno Me = mese Gi = giorno Or = ora;
- NMDP = numero di osservazioni macrosismiche del terremoto;
- Io = intensità massima (MCS);
- Mw = magnitudo momento.


Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
2-3		2000	04	26	13	37	4 Tirreno centrale	265		4.77

Figura 9-1: Sismicità storica del Comune di Palau.


9.3 Sorgenti sismogenetiche

Recentemente è stata presentata la nuova versione (vers. 3.2.1) del database "A compilation of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas", inizialmente divulgato in forma preliminare nel luglio 2000 come versione 1.0 e quindi pubblicato nel 2001 come versione 2.0 (Valensise & Pantosti, 2001).

Il Database contiene sorgenti sismogenetiche individuali e composite ritenute in grado di generare grandi terremoti. La nuova versione del Database contiene oltre 100 sorgenti sismogenetiche identificate attraverso studi geologico-geofisici (70% in più rispetto alla precedente versione). Tali sorgenti ricadono sull'intero territorio italiano e su alcune regioni confinanti.

L'assetto di queste sorgenti fornisce informazioni sull'andamento dei maggiori sistemi di faglie attive, consentendo in alcuni casi di individuare aree di potenziale gap sismico.

Obiettivo del Database è quello di rendere quanto più possibile completa l'informazione sulle sorgenti sismogenetiche potenziali del territorio nazionale; per questa ragione, oltre ad un numero maggiore di sorgenti individuali, viene proposta una forma di rappresentazione e caratterizzazione di tutte le aree che, pur essendo certamente in grado di generare forti terremoti, sono ancora poco comprese. È stata

	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

pertanto istituita una nuova categoria di aree sismogenetiche per le quali, in analogia con quanto proposto dalla nuova zonazione sismogenetica ZS9 (Meletti & Valensise, 2004), viene fornita la localizzazione geografica, la stima del meccanismo di fagliazione, la profondità efficace e la magnitudo massima attesa.

Dall'esame del Database, nel territorio di Palau, e della Sardegna in generale, non sono presenti sorgenti sismogenetiche composite (Figura 9-2).

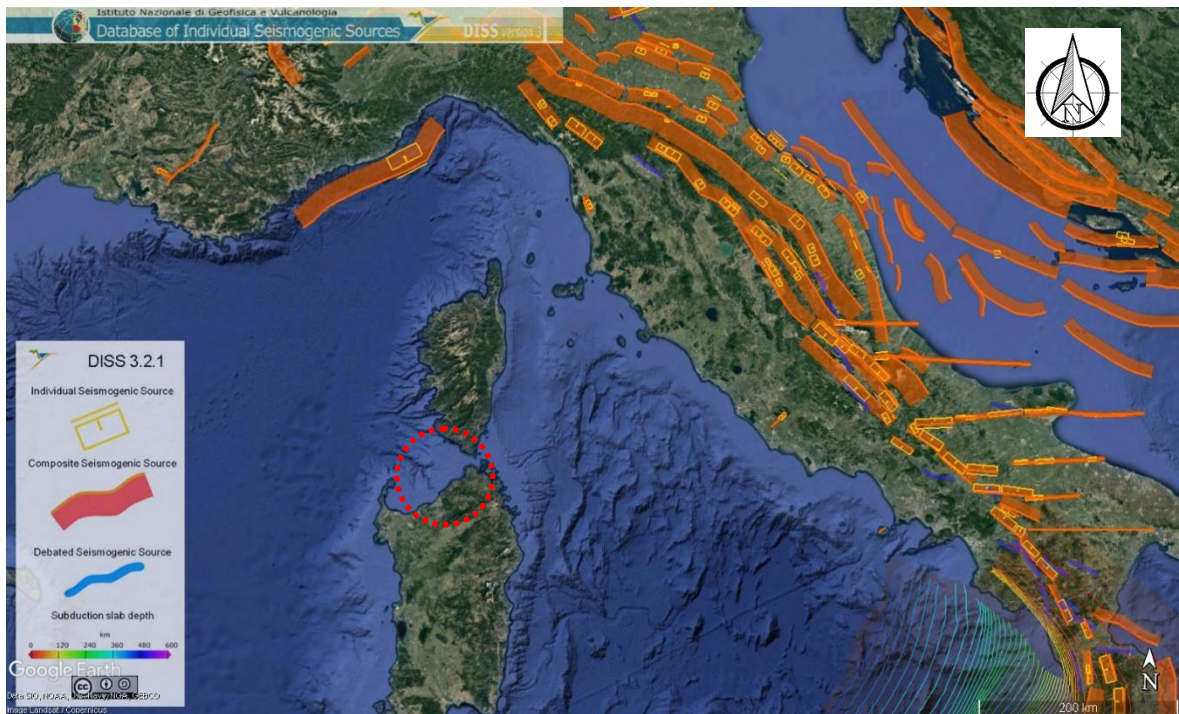



Figura 9-2: Sorgenti sismogenetiche contenute nella nuova versione del "Database of Potential Sources for Earthquakes larger than M 5.5 in Italy" per l'area in oggetto. In rosso l'area di studio, scala grafica.

 ENSER <small>SOCIETA' DI INGEGNERIA</small>	Committente: COMUNE DI PALAU	Documento: P.F.T.E. - Relazione geologica, geotecnica e sismica
	Lavoro: INTERVENTO DI COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU	Codice: S16141-PP-RE005-0 Data: 31/03/2021

10. SINTESI E CONCLUSIONI

La presente relazione illustra e descrive i risultati dello studio geologico, geomorfologico e sismico a supporto della progettazione preliminare per la realizzazione dell'intervento di "COMPLETAMENTO E RAZIONALIZZAZIONE DEL PORTO COMMERCIALE DI PALAU".

Dal punto di vista delle pericolosità territoriale, l'area non è soggetta né a vincoli né a rischi di tipo geomorfologico e/o idraulico. I dati geognostici a supporto del presente studio sono stati realizzati durante due campagne di indagini realizzate rispettivamente nel mese di ottobre del 2019 e nel mese di giugno del 2020. Esse hanno visto l'esecuzione di tracciamenti sismici a rifrazione ed un totale di n.10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo con esecuzione di prove SPT in foro. Sono altresì stati prelevati campioni rimaneggiati da sottoporre ad analisi di laboratorio per la determinazione dei parametri geotecnici.

A partire dalle indagini disponibili, dalle osservazioni svolte e dalla cartografia tecnica di riferimento, è stato ricostruito il modello del sottosuolo. Sono state individuate le seguenti unità stratigrafiche:

- Unità R: Materiale di riempimento eterogeneo ed eterometrico con presenza di massi di scogliera
- Unità 1: Materiale di riempimento di fondo mare omogeneo a litologia prevalentemente argillosa con frustoli vegetali a bassa o molto bassa consistenza;
- Unità 2: Sabbia limosa e sabbia quarzoso micacea dal colore variabile dal grigio al rossastro. Abbondanti resti vegetali, locali intervalli a litologia più fine costituiti da limo sabbioso e limo argilloso. Localmente presenti massi erranti a composizione granitica;
- Unità 3: Granito lapideo con grado di alterazione da alto a molto alto, colore variabile dal grigio al rossastro;
- Unità 4: Granito lapideo intatto.

Per quanto concerne la classificazione sismica, il Comune di Palau risulta classificato in "Zona 4".

Per quanto riguarda le opere in progetto, si segnala come esse non comporteranno significative variazioni alle attuali condizioni geomorfologiche dell'area in esame, in particolare esse non interferiranno con gli elementi idrografici superficiali e nemmeno con aree caratterizzate da pericolosità geomorfologica. I terreni di fondazione presentano caratteristiche meccaniche da discrete a buone, bisogna però considerare la variabilità della distribuzione e degli spessori delle unità sopra descritte in profondità.

Alla luce delle risultanze del presente studio, l'area è pertanto da ritenersi, sotto l'aspetto geologico, geomorfologico ed idrogeologico, idonea agli scopi previsti dal presente progetto.