



Programma Operativo
Complementare 2014/2020



**REGIONE
SICILIANA**

Assessorato regionale delle
infrastrutture e della Mobilità



Repubblica Italiana

**Dipartimento delle Infrastrutture e della mobilità e dei trasporti
Servizio 8 - Infrastrutture marittime e portuali**



**POTENZIAMENTO DELLE OPERE MARITTIME ESISTENTI PER LA
MESSA IN SICUREZZA E PROLUNGAMENTO DIGA FORANEA DEL
PORTO DI CASTELLAMMARE DEL GOLFO (TP)**

PROGETTO DEFINITIVO

Il Geologo

Dott. Geol. Alessandro Spampinato



Il RUP

Geom. Giuseppe Bruno

*Dipartimento regionale delle
infrastrutture, della
Mobilità e dei Trasporti*

Il Dirigente del Servizio 8
Arch. Carmelo Ricciardo

Titolo elaborato:

RELAZIONE GEOLOGICA

CODICE ELABORATO: 01_ED_RE_03		REVISIONE: C		SCALA: -	
C	EMISSIONE A SEGUITO DI RAPPORTO DI VERIFICA	GIUGNO 2021			
B	SECONDA EMISSIONE	MARZO 2021			
A	PRIMA EMISSIONE	FEBBRAIO 2021			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1. PREMESSA	pag.	2
2. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE	“	4
3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE	“	6
4. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE	“	9
5. CENNI DI SISMICITA' DEL TERRITORIO	“	12
6. INDAGINI IN SITU	“	16
7. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE	“	18
8. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE	“	23
9. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE	“	25
10. VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE	“	36
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	“	39

APPENDICE

Note di riscontro alle osservazioni

ALLEGATI

1. PREMESSA

Su incarico del “Dipartimento Regionale delle Infrastrutture, della Mobilità e dei Trasporti – Servizio 8 Infrastrutture Marittime e Portuali – Decreto del Dirigente n. 2329 del 29/07/2020” è stato eseguito lo studio geologico dei terreni interessati dal progetto definitivo dei “*Lavori di potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza e prolungamento diga foranea del porto di Castellammare del Golfo (TP) - CIG Z5E2DB5D2D*”, al fine di determinarne principalmente le caratteristiche morfologiche, geolitologiche, idrogeologiche e geotecniche.

Lo studio è stato condotto sia mediante ricognizioni di superficie in zone adiacenti, al fine di osservare le varie formazioni geologiche presenti in affioramento, che consultando delle indagini geognostiche effettuate nell’area portuale e la letteratura geologica esistente.

Nei successivi paragrafi verranno trattati i sotto elencati argomenti:

- caratteristiche morfologiche;
- caratteristiche geologiche;

- caratteristiche idrogeologiche;
- cenni di sismicità del territorio;
- indagini in situ;
- pericolosità sismica locale;
- caratteristiche litologiche;
- caratteristiche geotecniche;
- verifica della liquefazione;
- considerazioni conclusive.

2. CARATTERISTICHE MORFOLOGICHE

La diga foranea interessata dai lavori di potenziamento e prolungamento si trova nella parte settentrionale del Porto di Castellammare del Golfo, questo è situato al centro dell'omonimo golfo che si sviluppa con direzione NW-SE tra Capo San Vito e Capo Rama, tra il porto di Palermo e quello di Trapani.



Fig. 1

In linea di massima l'assetto geomorfologico del territorio circostante l'abitato di Castellammare è dato dall'insieme sia dei rilievi articolati che costituiscono la dorsale dei Monti di Capo San Vito, le colline di Monte Luziano-Monte Bosco e il massiccio di Monte Inici, che dalle grandi pianure che contraddistinguono la Piana di Castellammare ed i settori costieri settentrionali e occidentali della Penisola Capo San Vito.

In particolare la fascia costiera del Golfo presenta morfologie e paesaggi molto vari. Il principale elemento qui presente è la Penisola di Capo San Vito allungata in direzione N-S, che separa il grande Golfo di Castellammare ad est dal più piccolo Golfo del Cofano ad Ovest.

Il versante orientale della penisola di Capo San Vito presenta prevalentemente coste alte e rocciose, a volte a strapiombo sul mare, interrotte solo da poche, piccole insenature che ospitano spiagge ciottolose. Le alte falesie carbonatiche in alcuni tratti proseguono fin sotto il livello del mare fino alla profondità di diverse decine di metri; a luoghi sono invece presenti piccole piattaforme costiere che si sviluppano lungo la costa per alcune decine di metri.

All'estremità meridionale della penisola, in corrispondenza dell'abitato di Castellammare del Golfo, la costa cambia nuovamente direzione, assumendo un andamento circa ENE. In quest'ultimo tratto la costa si presenta bassa e sabbiosa, con una lunga spiaggia larga fino ad alcune decine di metri, interrotta solamente dalle foci dei fiumi che attraversano la Piana di Castellammare. Alle spalle della spiaggia si erge un ben sviluppato sistema di dune costiere, in parte fossili ma per lo più attuali.

La costa bassa si interrompe bruscamente in prossimità del centro abitato di Balestrate per la presenza di una falesia alta una ventina di metri modellata sugli affioramenti carbonatico-clastici quaternari.

In particolare l'area portuale è situata in una zona pianeggiante posta ad una quota media di circa m 2,5 s.l.m. e che quindi si può considerare morfologicamente stabile rientrando nella categoria topografica “**T1**” della Tabella 3.2.VI del D.M 17/01/2018.

3. CARATTERISTICHE GEOLOGICHE

Il territorio del Comune di Castellammare del Golfo è situato all'estremità occidentale della Piana di Partinico compresa tra i Monti di Palermo ed est ed i Monti del Trapanese ad ovest, caratterizzata da una potente placca arenitica che morfologicamente forma una pianura dolcemente inclinata verso costa ed incisa da diversi corsi d'acqua.

In particolare, la zona in esame, ricade in corrispondenza di una depressione tettonica indicata in letteratura geologica con il nome di “Graben di Castellammare” ed è compresa tra i rilievi di Monte Inici ad ovest e Calatubo-Monte Bonifato ad est, costituiti entrambi da dei depositi carbonatici neritici, calcareo-marnosi e terrigeni, di età terziarie. In quest'area i sedimenti del Pleistocene Inferiore, che poggiano in discordanza sui terreni afferenti alla formazione delle “Marne di San Cipirello” del Serravalliano Superiore – Tortoniano Inferiore, sono in contatto tettonico per faglia diretta con i calcari e le dolomie del Monte Inici (Trias sup. – Miocene inf.)

Sulla base dei dati disponibili e di quanto osservato nel corso dei sopralluoghi effettuati è stata elaborato uno stralcio di carta geologica in scala 1:10.000 (All. 2) dove è stata riportata la distribuzione areale delle formazioni presenti nel territorio circostante l'area in studio.

In essa sono state principalmente distinte, dall'alto verso il basso, le seguenti formazioni ed unità:

- depositi di spiaggia;
- detrito grossolano di falda;
- conglomerati, sabbie e silt argillosi (Pleistocene Medio Sup.);
- calcareniti e calcirutiti bioclastiche (Pleistocene Inf.);
- argille, argille marnose e marne (Unità di Monte Bonifato -Langhiano Sup. – Tortoniano);

- calcari dolomitici, dolomie e calcilutiti (Unità di Monte Inici – Trias Sup.
– Lias).

Vengono qui di seguito brevemente accennate le caratteristiche geologiche salienti di ciascuna formazione.

a) Depositi di spiaggia

Questi depositi si rinvenivano sia lungo la costa che all'interno dell'area portuale e sono costituiti da sabbie fini e da sabbie limose con ciottoli. Gli spessori sono di norma compresi tra 1,5 e 2,0 m così da non riuscire a ricoprire, talvolta, completamente le emergenze del substrato roccioso

b) Detrito grossolano di falda

Questo litotipo è presente ad ovest dell'abitato di Castellammare del Golfo alle falde del Monte Inici. Si tratta di un deposito di origine continentale costituito da frammenti eterometrici di roccia di origine prevalentemente carbonatica, a spigoli vivi, variamente cementati, immersi in una matrice limoso-argillosa di colore rossastro. Lo spessore è variabile e dipende in genere dalla paleomorfologia del substrato che ricopre.

c) Conglomerati, sabbie e silt argillosi con intercalazioni di ciottoli, argille e livelli di paleosuoli – Pleistocene medio – sup.

Questi terreni affiorano in prevalenza ad est del centro abitato lungo la Piana di Castellammare del Golfo e poggiano su una piattaforma di abrasione marina calcarenitica. Si tratta di depositi di origine continentale, costituiti per lo più da livelli grossolani di conglomerati, passanti verso l'alto a livelli di sabbie siltose e quarzose con ciottoli separati da paleosuoli, dello spessore compreso tra 2 e 15 m.

d) Calcareniti e calciruditi bioclastiche con intercalazioni di marne siltose biogeniche e sabbie quarzose grossolane – Pleistocene inf.

Questa litofacies, che affiora nel territorio in studio principalmente lungo la fascia costiera di Castellammare del Golfo, è costituita da un complesso di

calcareniti e sabbie giallastre a composizione prevalentemente carbonatica e da rari livelli conglomeratici ed argillosi. In particolare nei pressi del centro abitato affiora a partire dal livello del mare, una successione di biocalcareniti (spessore circa 4 m), conglomerati di spiaggia discordanti sui terreni precedenti (spessore 5 m) passanti a sabbie infralitorali a laminazione incrociata, potenti almeno 4 m.

e) Argille, argille marnose e marne (Marne di San Cipirello – U.S.S. Monte Bonifato) – Langhiano sup. - Tortoniano

Nel territorio in esame la formazione è presente lungo una fascia che interessa il centro urbano; questa comprende argille, argille marnose e marne di colore prevalentemente grigio verdastro. A volta le marne si presentano sabbiose, di colore giallastro e con un contenuto di CaCO_2 pari al 33%. Spesso sono deformate con uno spessore compreso tra 20 e 40 m circa.

f) Calcari dolomitici a megalodonti, dolomie stromatolitiche, calcilutiti ad alghe e foraminiferi, brecce loferitiche (Fm Inici – Unità S.S. Monte Inici) – Trias sup. - Lias

Questa formazione è presente ad ovest del paese in corrispondenza del Monte Inici ed è costituita da calcari e calcari dolomitici compatti.

I calcari si presentano di colore bianco-grigiastro, ben stratificati in spessori decimetrici e interessati da frequenti cavità neocarsiche riempite da alabastri calcarei e silt rossastri di origine continentale.

I calcari dolomitici, invece, sono di colore variabile dal grigio al biancastro e stratificati in grossi banchi, molto fratturati e a giacitura variabile. Il loro spessore varia tra 50 e 400 m.

4. CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Sulla scorta delle osservazioni di superficie può essere formulata una verosimile identificazione delle caratteristiche idrogeologiche del territorio in esame. Poiché la circolazione delle falde acquifere è condizionata dalla distribuzione e sovrapposizione di terreni a differente permeabilità e quindi dalla “trasmissività” delle varie formazioni presenti, vengono anzitutto qui di seguito brevemente accennate le loro caratteristiche di permeabilità.

Per maggiore comodità esplicativa viene effettuata una distinzione in ordine sia al tipo di permeabilità che alle classi dei terreni che presentano analoghe caratteristiche in tal senso; si possono così distinguere (cfr All. 3):

- terreni permeabili;
- terreni a permeabilità variabile;
- terreni impermeabili.

- **Terreni permeabili**

A questa classe vanno ascritti i terreni dotati di porosità, in cui la permeabilità è una caratteristica del litotipo e viene definita “permeabilità primaria”; nel caso in esame vi appartengono i depositi di spiaggia, le sabbie e il detrito.

A titolo orientativo si può suggerire il seguente campo di variabilità del coefficiente di permeabilità:

$$10^{-1} \geq K \geq 10^{-3} \text{ cm/sec}$$

- **Terreni a permeabilità variabile**

A questa classe possono essere ascritte i conglomerati, le calcareniti, le calciruditi, i calcari e le dolomie, in cui è sempre presente un sistema di discontinuità, variamente orientato e di intensità molto variabile.

Stabilire l'ordine di grandezza del coefficiente di permeabilità dei suddetti terreni non è certo semplice, riscontrandosi in natura delle situazioni locali con permeabilità elevata, laddove esiste una fessurazione di tipo “beante”, e di permeabilità più ridotta in corrispondenza di quelle porzioni dell'ammasso roccioso meno fratturate o con fessure di tipo “combaciante”.

A titolo largamente orientativo si può indicare il seguente campo di variabilità del coefficiente di permeabilità:

$$10^{-1} \geq K \geq 10^{-4} \text{ cm/sec}$$

- Terreni impermeabili

Vi appartengono i terreni a prevalente composizione argillosa, quali le argille e le marne, il cui valore del coefficiente di permeabilità è dell'ordine di:

$$K = 10^{-8} - 10^{-9} \text{ cm/sec}$$

* * * * *

In siffatte condizioni la circolazione idrica superficiale, sub-superficiale (intendendo con tale termine le acque che si rinvenivano a breve profondità dal piano di campagna) e profonda si esplica laddove la permeabilità delle rocce è tale da consentirne l'accumulo ed il deflusso.

Vengono qui di seguito descritti sia il comportamento delle acque di deflusso superficiale, sia la circolazione idrica profonda.

a) Acque superficiali

La possibilità di infiltrazione delle acque di precipitazione meteorica nel sottosuolo dipende in primo luogo dalla permeabilità dei terreni e quindi dall'acclività dei versanti e dall'urbanizzazione.

Sui terreni permeabili la maggior parte delle acque si infiltra nel sottosuolo e va a formare le falde acquifere profonde.

b) Acque profonde

Sono quelle che si rinvencono prevalentemente in seno ai conglomerati, le sabbie e le calcareniti della Piana di Castellammare del Golfo, sostenute dal substrato argilloso impermeabile.

5. CENNI DI SISMICITA' DEL TERRITORIO

Le ricerche sulla sismicità della Sicilia (BARBANO et Al., 1978; 1980; 1981; 1984) ed altri studi sui maggiori terremoti degli ultimi mille anni (BARBANO & COSENTINO, 1981; LOMBARDO, 1984) hanno dimostrato che più del 48% del territorio siciliano ha subito, almeno una volta, una scossa sismica di intensità superiore al 9° M.S.K. 64.

La distribuzione degli epicentri e l'attività sismica (RIZNICHENKO, 1964) individuano, oltre alla Calabria, la fascia orientale della Sicilia tra le aree ad elevata pericolosità sismica, con rischio sismico altissimo essendo zone densamente popolate. Infatti la fascia orientale soggetta a scuotibilità provocata dall'elevata sismicità del territorio: si ricordano i grossi terremoti del 1908 (Stretto di Messina), 1169 e 1693 (Avampaese Ibleo) che sono stati avvertiti rispettivamente con intensità del 7° e 10° della MSK-64.

Il “rischio sismico” del territorio di cui in oggetto è legato principalmente ai grossi eventi sismici a carattere regionale e BARBANO, CARROZZO, COSENTINO et Al. (1984) in accordo con RIZNICHENKO (1964) sottolineano come le aree di Messina – Reggio siano ad alto rischio sismico, con attività sismica $A_0 = 1$.

Gli stessi Autori, in accordo con la teoria di Gumbel, forniscono la seguente tabella che lega la magnitudo al periodo di ritorno, considerato come intervallo di tempo per il quale è probabile che si verifichi l'evento sismico:

Magnitudo	Periodo di ritorno (anni)
3,0	0,4
4,0	2,0
5,0	13,0

Per piccoli valori di magnitudo si hanno quindi periodi di ritorno in media di circa due anni.

Per “magnitudo” si intende la misura quantitativa della dimensione di un terremoto; COSENTINO & LOMBARDO (1980) legano la magnitudo macroscopica (M) alla intensità di un terremoto mediante la relazione:

$$M = 0,52 I \text{ (M.S.K.)} + 1,35$$

in cui l’intensità sismica I (M.S.K.) è legata all’intensità della scala Mercalli Modificata (I mm) dalla relazione:

$$I \text{ (M.S.K.)} = 0,94 I \text{ (MM)} + 0,08$$

A titolo di esempio si riporta la correlazione tra le varie scale per il terremoto di Messina del 1908:

Scala Merc. Mod.	I M.S.K.	Magnitudo
12	11	7,1

La “storia sismica” della Sicilia può essere ricavata dalle pubblicazioni dell’Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (2016) “*Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015*” (CPTI15) e “*Database Macrosismico Italiano 2015*” (DBMI15) che forniscono dati parametrici omogenei sia macrosismici che strumentali relativi a 4.584 terremoti verificatesi in Italia con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 nella finestra temporale 1000-2014.

Nella Tabella che segue, in riferimento al Database su indicato, vengono riportati i dati generali identificativi ed alcuni parametri macrosismici per i terremoti verificatesi con intensità ≥ 3 in un periodo compreso tra il 1818 ed il 2016 nel territorio di parte della Sicilia orientale che possono reputarsi significativi per la storia sismica del Comune di Castellammare del Golfo. In Tab.1 viene indicata con Int. l’intensità macrosismica risentita (MCS), con NMDP il numero di punti in cui è disponibile il dato macrosismico, con I_0 l’intensità macrosismica dell’epicentro (MCS) ed infine con Mw la magnitudo momento dell’evento. In Fig. 2 viene riportato il grafico relativo alla sismicità storica del Comune.

Int.	Anno Mese Giorno	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
5	1823 03 05	Sicilia settentrionale	107	8	5,81
2-3	1893 05 11	Isola di Ustica	15	5	4,59
4	1897 05 15	Tirreno meridionale	85	5	4,52
3	1908 12 28	Stretto di Messina	772	11	7,1
NF	1909 12 03	Camporeale	15	4	3,7
F	1910 01 25	Tirreno meridionale	34	5	4,48
NF	1910 02 17	Isola di Ustica	11	5	4,16
4-5	1940 01 15	Tirreno meridionale	60	7-8	5,29
NF	1954 11 20	Sicilia centro-occidentale	34	5-6	4,24
3	1959 12 23	Piana di Catania	108	6-7	5,11
5	1968 01 14	Valle del Belice	15	6-7	5,1
4	1968 01 14	Valle del Belice	18	7	4,84
5	1968 01 15	Valle del Belice	15	8	5,37
7-8	1968 01 15	Valle del Belice	162	10	6,41
3-4	1976 10 12	Valle del Belice	11	5	4,41
5	1979 01 20	Tirreno meridionale	9		4,87
3	1981 06 07	Mazara del Vallo	50	6	4,93
3	1995 05 29	Isole Egadi	45	5	4,78
5	1998 01 17	Golfo di Castellammare	21		4,83
4-5	2002 09 06	Tirreno meridionale	132	6	5,92

Tab. 1: Storia sismica di Castellammare del Golfo (da INGV - DBMI15:
<http://emidius.mi.ingv.it/CPTI15-DBMI15/>).

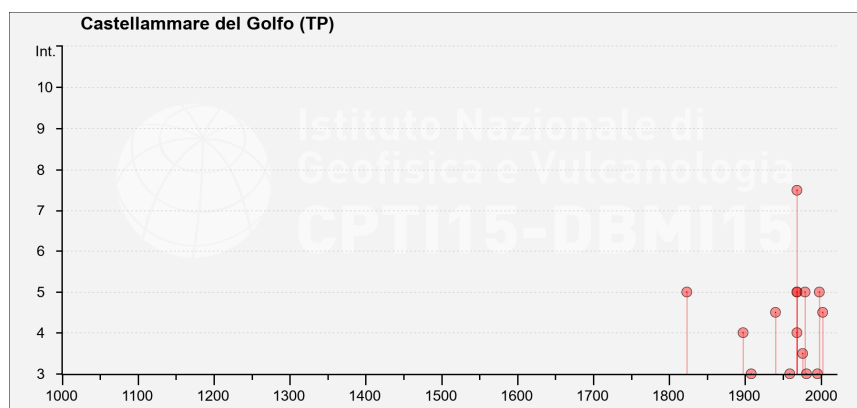


Fig. 2 – Grafico relativo alla sismicità storica di Castellammare del Golfo (DBMI15)

Dall’analisi dei dati sopra riportati, risulta quindi giustificato definire il territorio della Provincia di Trapani come facente parte di un’area ben più vasta ad elevato rischio sismico.

Per la situazione strutturale e sismologica evidenziata, ed in riferimento alla nuova normativa sismica, Ordinanza n° 3274 del Presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 “*Primi elementi in materia di criteri generali per la*

classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica” e successive modifiche ed integrazioni, il territorio comunale di Castellammare del Golfo, entro cui ricade l'area interessata dal progetto di cui in premessa, è stato incluso nell'elenco delle località classificate come “zona sismica 2”, alla quale è associata un'accelerazione orizzontale massima di 0.25 g.

Zona Sismica	Accelerazione al suolo “a_g”
1	0.35 g
2	0.25 g
3	0.15 g
4	0.05 g

Tab. 2 - Zone sismiche e corrispondenti valori di accelerazione orizzontale di ancoraggio (a_g/g) dello spettro elastico di risposta.

6. INDAGINI IN SITU

Nell’area interessata dalle opere in progetto (cfr. Fig. 3) la campagna di indagini geognostiche è stata effettuata dalla Ditta GHEA S.R.L. ed è consistita nell’esecuzione di tre sondaggi nel corso dei quali sono state effettuate otto prove di penetrazione dinamica Standard Penetration Test (*SPT*) e prelevati n. 11 campioni rimaneggiati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio. Inoltre, in aggiunta ai sondaggi, è stata eseguita una l’indagine sismica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) per la determinazione della categoria del profilo stratigrafico del suolo, impiegando un sismografo Dolang Jea Telemetry 24 bit con 24 canali.

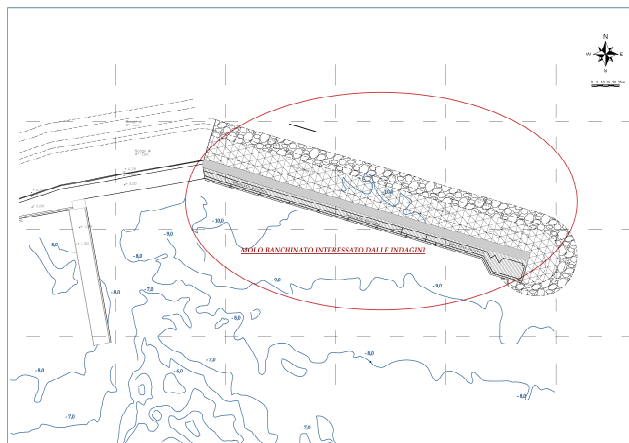


Fig. 3

I sondaggi, spinti sino alla profondità di 30 m dal piano banchina, hanno avuto principalmente lo scopo di accertare la litologia dei terreni; le perforazioni sono state eseguite a rotazione con diametro del foro di 101 mm e a carotaggio continuo utilizzando una attrezzatura oleodinamica cingolata Beretta modello T46.

L’ubicazione delle indagini è riportata nell’Allegato 6 mentre le modalità esecutive, i dati particolareggiati dei sondaggi con le relative stratigrafie, l’elaborazione e l’interpretazione dei risultati ricavati dalla prospezione sismica sono riportati nell’elaborato “*Relazione sulle indagini geognostiche*”.

* * * * *

Da una analisi dei dati dell’indagine sismica eseguita sulla diga foranea si può rilevare come la velocità delle onde S diminuisca con la profondità. Infatti si possono identificare grosso modo due sismo-strati: Il primo fino alla profondità di circa m 14 m con valori delle velocità delle onde V_s compresi tra 420 e 237 m/sec, verosimilmente attribuibili ai materiali che formano la struttura della stessa diga. Successivamente, in corrispondenza dei terreni sabbiosi del substrato, la velocità V_s diminuisce a 137 m/sec e si mantiene costante sino ad una profondità di circa 35m.

Escludendo i materiali che formano la struttura della diga foranea, in riferimento alle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. Infrastrutture 17 Gennaio 2018) la presenza entro i 30 m di profondità di una successione di terreni con velocità di propagazione delle onde di taglio V_{s30} pari a 137 m/s determina che la tipologia del suolo di fondazione è assimilabile alla categoria “D” che definisce tali terreni come corrispondenti a: *“Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT < 15$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_u < 70$ kPa nei terreni a grana fine)”*.

Tipologia di suolo	Valori di V_{s30} [m/s]
A	$V_{s30} > 800$
B	$360 < V_{s30} < 800$
C	$180 < V_{s30} < 360$
D	$V_{s30} < 180$

Tab. 3 – Tipologia di suolo in relazione al calcolo della V_{s30}

7. PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

Gli effetti indotti da una sollecitazione dinamica, oltre che dalle caratteristiche del fenomeno sismico (magnitudo, durata, contenuto in frequenza e accelerazioni massime), dipendono anche dalle caratteristiche topografiche, litologiche e dalle condizioni geo-stratigrafiche ed elastiche dei depositi superficiali. Dovendo operare nell'ambito di una adeguata quantificazione della risposta dinamica del sito di progetto, si può osservare che esistono certamente, negli ambiti del territorio considerato, molteplici fattori di smorzamento dell'amplificazione locale delle azioni sismiche.

Nella nuova normativa sismica lo spettro di risposta elastico è costituito da una forma spettrale (spettro normalizzato), considerata indipendente dal livello di sismicità, moltiplicata per il valore dell'accelerazione massima (a_g) del terreno che caratterizza il sito.

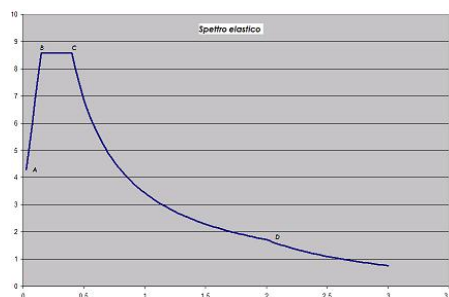


Fig. 4 - Andamento qualitativo di uno spettro di risposta generico

Le azioni di progetto si ricavano, ai sensi delle NTC, dalle accelerazioni a_g e dalle relative forme spettrali che sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri a_g (accelerazione massima del terreno), F_0 (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale), T_C^* (periodo di inizio del tratto di velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale).

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_C^* dipendono dalle caratteristiche di moto del terreno, dal calcolo del periodo di ritorno dell'azione sismica, dalla vita di riferimento della costruzione e della sua probabilità di eccedenza. Per la determinazione di tali parametri è stata imposta la condizione di minimo scarto

(nel senso dei minimi quadrati) tra le forme spettrali in accelerazione adottate dalle NTC (simili a quelle di EC 8) e i corrispondenti spettri di risposta dello studio di pericolosità sismica dell'IGNV. Una volta calcolati, risulta possibile definire i parametri dello spettro di risposta elastico in accelerazione, sia della componente orizzontale che di quella verticale, da utilizzare nella progettazione. Per quanto riguarda l'area del porto del Comune di Castellammare del Golfo in cui è situata la diga foranea interessata dagli interventi in progetto, individuate le coordinate del sito e di conseguenza definiti i nodi del reticolo intorno ad esso, con il programma “Spettri NTC ver. 1.0.3” si possono elaborare gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontale e verticale) delle azioni sismiche di progetto.

Ponendo in relazione la categoria di suolo individuata mediante l'indagine effettuata, la categoria topografica e lo spettro di risposta elastico, si ricavano secondo la Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D. M. 17/01/2018 per il sito in oggetto i parametri necessari per la stima della pericolosità sismica (cfr Figure e Tabella). In particolare il sito ha le seguenti coordinate geografiche espresse in ED50: latitudine: 38,035736(°) - longitudine: 12,881963(°), mentre i nodi del reticolo di riferimento sono: 46611 – 46612 – 45390 – 45389

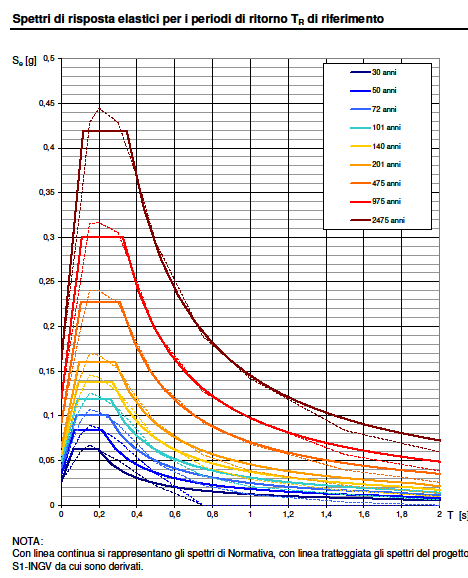


Fig. 5

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* : variabilità col periodo di ritorno T_R

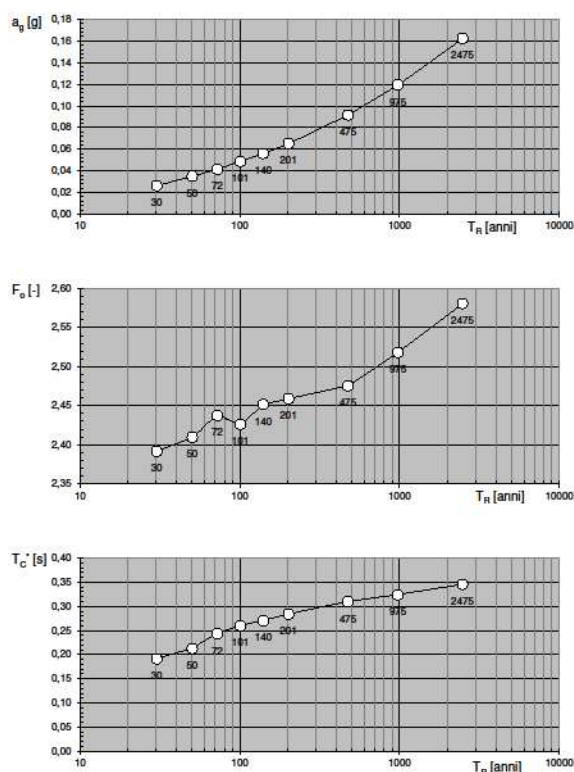


Fig. 6

T_R (anni)	a_g (g)	F_o (-)	T_c^* (s)
30	0,026	2,392	0,192
50	0,035	2,409	0,213
72	0,042	2,438	0,244
101	0,049	2,426	0,260
140	0,056	2,452	0,271
201	0,065	2,459	0,284
475	0,092	2,476	0,310
975	0,119	2,519	0,324
2475	0,162	2,581	0,346

Tab. 4 – Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

7.1. Spettro di risposta elastico della componente orizzontale

Amplificazione stratigrafica

In riferimento alla normativa D.M. 17/01/2018 per il sottosuolo appartenente alla categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1, per le altre categorie di sottosuolo B, C, D ed E gli stessi coefficienti possono essere calcolati in funzione dei valori F_0 e T_c^* , mediante le espressioni indicate nella tab. 3.2.V dello stesso D.M., nelle quali g è l’accelerazione di gravità e dove il tempo è espresso in secondi.

Nel caso in esame, ipotizzando cautelativamente il sito formato da una categoria di sottosuolo di tipo “D”, i coefficienti S_s e C_c si possono calcolare con le seguenti espressioni:

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S_s	C_c
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 F_0 * a_g/g \leq 1,80$	$1,25 * (T_c)^{-0,50}$

Tab. 5 – Coefficienti S_s C_c

Amplificazione topografica

Per tenere conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T di cui alla Tabella 3.2. VI del D.M. 17/01/2018, in funzione delle categorie topografiche e dell’ubicazione dell’area in esame:

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 del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Tab. 6 - Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Da cui, considerando che l’area del porto in cui è ubicata la diga foranea è pianeggiante e quindi rientra nella categoria T1, il coefficiente di amplificazione topografica S_T è pari a 1.

7.2. Spettro di risposta elastico della componente verticale

Per la determinazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale del moto, in mancanza di accurate determinazioni, si possono assumere, per le categorie di suolo di fondazione, i valori T_B , T_C , T_D e S_S riportati nella Tab. 3.2.VII del D.M. 17/01/2018:

Categoria di sottosuolo	S_S	T_B	T_C	T_D
A,B,C,D,E	1,0	0,05s	0,15s	1,0s

Tab. 7 - Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico

dove:

- S_S fattore che tiene conto della categoria del suolo di fondazione
- T_{BCDE} i periodi che separano i diversi rami dello spettro, dipendenti della categoria di suolo di fondazione.

8. CARATTERISTICHE LITOLOGICHE

Nel corso dei sondaggi geognostici effettuati lungo il prolungamento della diga foranea interessata dalla messa in sicurezza è stato possibile accertare la costante presenza di materiali di riempimento, attribuibili alla struttura della stessa diga, e di sabbie poco limose a tratti intervallate da livelli calcarenitici.

In particolare dai rilievi batimetrici effettuati a supporto di altre progettazioni nell'area portuale e dai dati delle stratigrafie, che hanno permesso di elaborare sia uno stralcio di carta del sedime portuale (cfr. All. 4) che le sezioni litologiche riportate negli Allegati 7-8-9-10, sono stati individuati i seguenti litotipi:

- conglomerato calcarenitico in grossi blocchi (riporto);
- sabbie miste a frammenti calcarei;
- sabbie;
- sabbie alternate a piccoli strati di calcareniti.

a) Conglomerato calcarenitico in grossi blocchi (riporto)

Il conglomerato è il materiale di riporto servito a formare il corpo diga, contenuto verso mare da grossi massi. La sua natura è eterogenea sia come granulometria che come composizione.

Infatti il materiale può essere definito come un ammasso di “blocchi con ciottoli” di natura calcarenitica e calcarea immerso in una matrice ghiaioso-sabbiosa, con uno spessore che varia dai 3 ai 10 m circa, dove gli elementi più grossolani sono a spigoli vivi o sub-arrotondati e di dimensioni decimetriche.

b) Sabbie miste a frammenti calcarei

Al di sotto del materiale conglomeratico, durante la perforazione dei sondaggi S2 ed S3, è stato rinvenuto uno strato di sabbie di colore brunoastro

spesso circa 2,5 m che ingloba dei frammenti calcarei. Si tratta di sabbie a granulometria medio-fine con elementi calcarei a spigoli sub-arrotondati delle dimensioni comprese tra 1-5 cm.

c) Sabbie

Questo litotipo, rinvenuto in tutti e tre i sondaggi ad una profondità compresa tra 11,00 m (S2) e 15,50 m (S3), forma in gran parte il substrato dell'area indagata. Le sabbie, di colore che varia dal grigio al bruno e al bruno-verdastro, hanno una granulometria prevalentemente medio-fine con sottili livelli limosi e sono mediamente addensate. Talvolta si possono rinvenire dei sottili strati di sabbie più grossolane.

d) Sabbie alternate a piccoli strati di calcareniti

Nei sondaggi S1 ed S3, rispettivamente alla profondità di 23,00 e 31,00 m dal piano banchina e per uno spessore di circa 2-3 m, è stato rinvenuto un livello di sabbie limose bruno-giallastre alternate a piccoli strati di calcareniti giallastre di spessore centimetrico

9. CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

In questo paragrafo viene effettuata la caratterizzazione geotecnica delle sabbie in quanto costituiscono il litotipo che prevale nel substrato di fondazione degli interventi previsti in progetto.

Questa si basa sia sui risultati di prove geotecniche di laboratorio eseguite su n. 11 campioni rimaneggiati che sull'elaborazione di n. 8 prove di penetrazione dinamica SPT (“*Standard Penetration Test*”) effettuate in situ.

• Prove di laboratorio

Sui campioni rimaneggiati prelevati a varie profondità nel corso dei tre sondaggi geognostici sono state effettuate dal laboratorio geotecnico “*GEO.TEC. s.n.c.*” di Palermo delle prove consistenti nella determinazione delle caratteristiche fisiche, granulometriche e di taglio.

- Parametri fisici

I parametri fisici determinati sui campioni rientrano nei seguenti intervalli:

- contenuto in acqua	$W_n = 9,30 - 36,60 \%$
- peso di volume rim.	$\gamma = 1,787 - 2,071 \text{ Mg/m}^3$
- peso specifico dei granuli	$\gamma_s = 2,631 - 2,700 \text{ Mg/m}^3$

- Analisi granulometrica

All'analisi granulometrica i campioni rientrano per lo più nei campi delle “*sabbie limoso-argillose debolmente ghiaiose*” e delle “*sabbie debolmente limose con ghiaia*”, con classi granulometriche comprese fra i seguenti intervalli di percentuale:

- ghiaia	1 % - 28 %
- sabbia	60 % - 93 %

- limo 6 % - 16 %

- argilla 0 % - 15 %

- Parametri di taglio in termini di tensioni efficaci

Per la definizione dei parametri di taglio in termini di tensioni efficaci sono state eseguite n. 11 prove di taglio diretto in condizioni consolidate e drenate con apparecchio di Casagrande su tre provini.

Dai risultati ottenuti, compendati nell’elaborato “Prove di Laboratorio”, sono stati ricavati per ciascun campione i seguenti diagrammi in modo da poter valutare i valori della coesione (c') e dell’angolo di attrito interno (ϕ'):

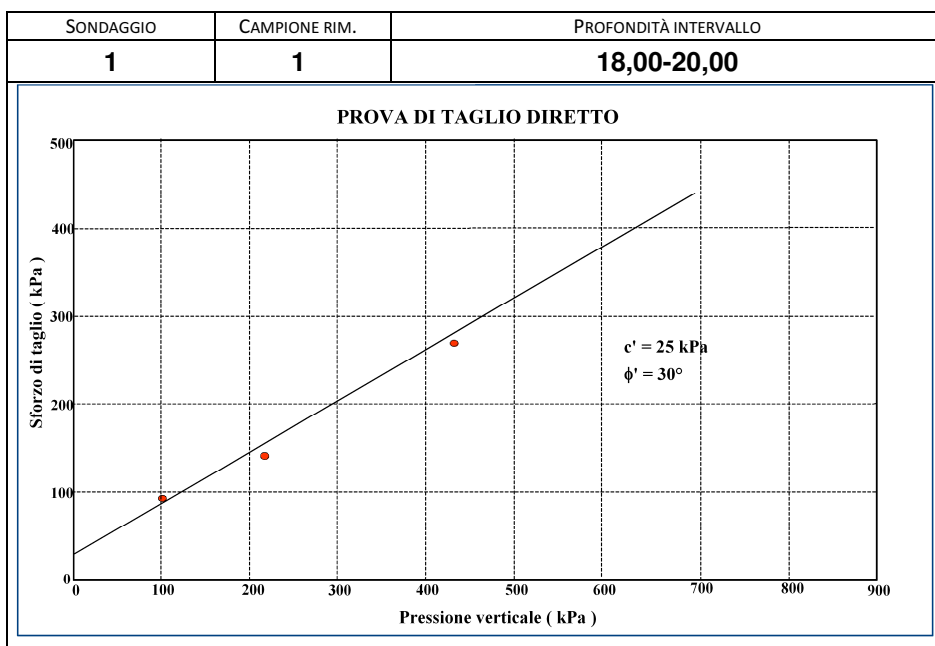


Fig. 7

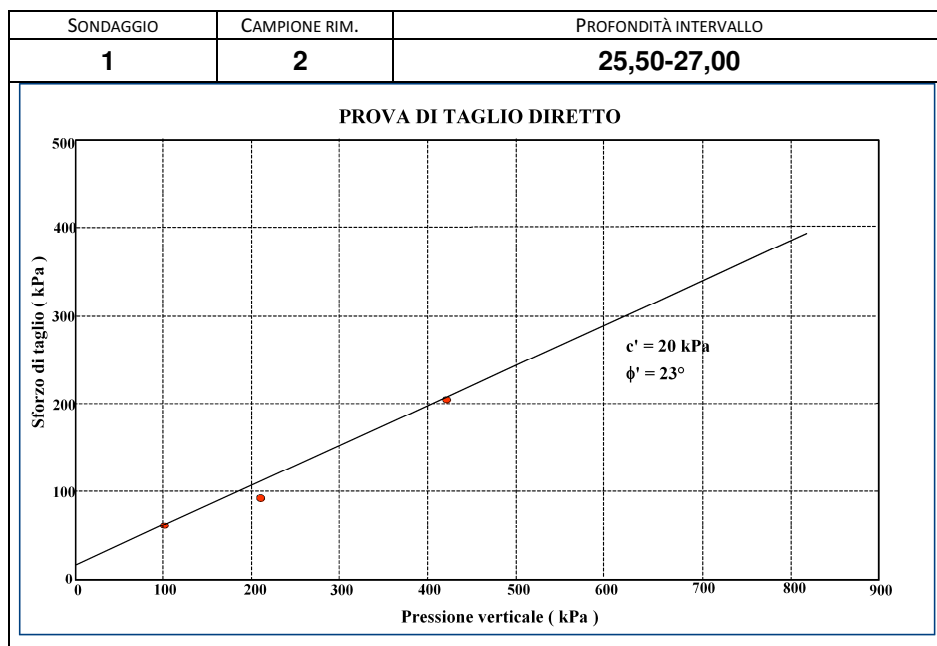


Fig. 8

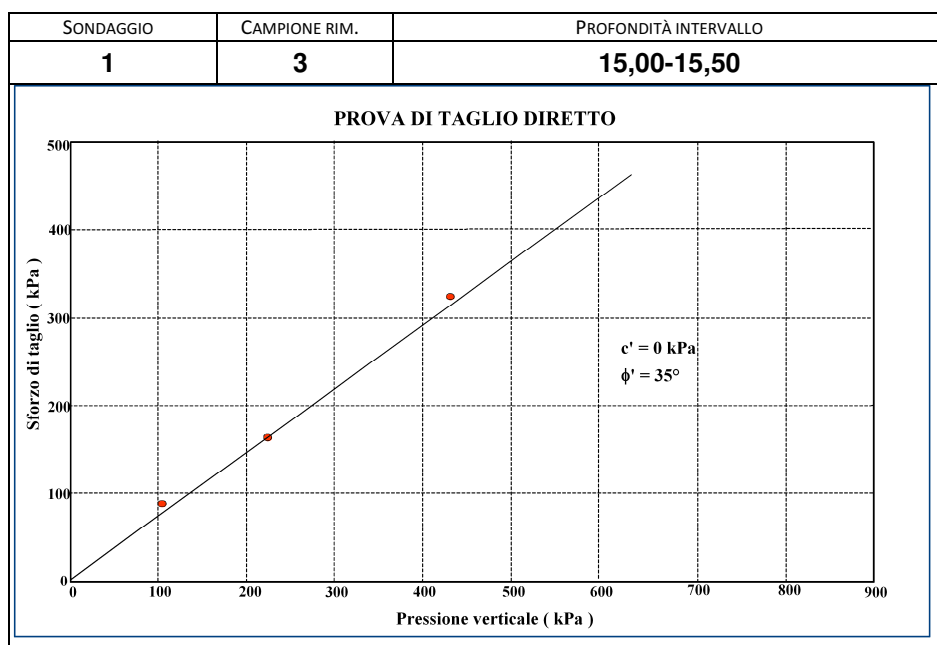


Fig. 9

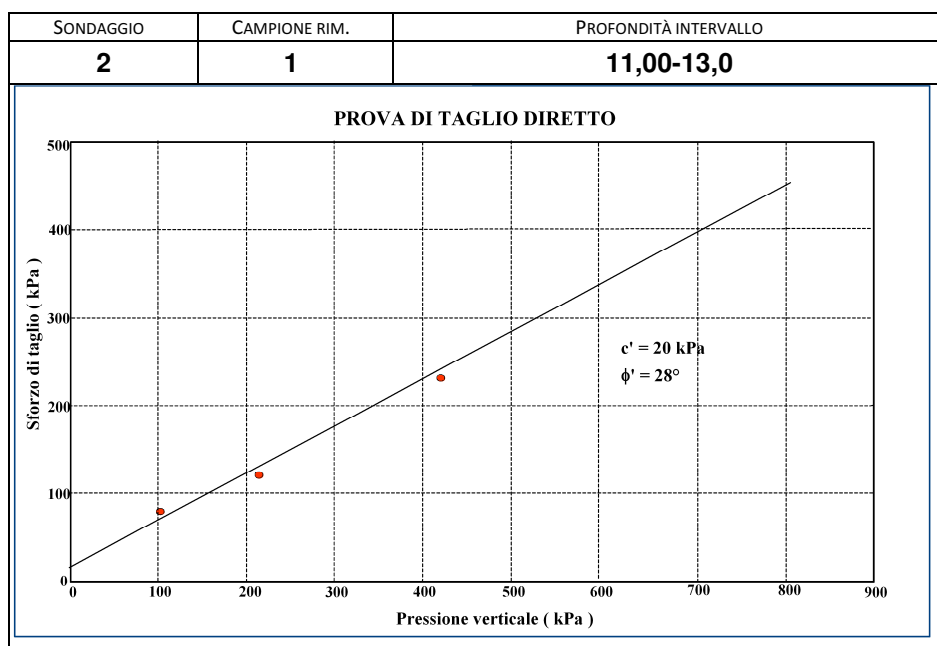


Fig. 10

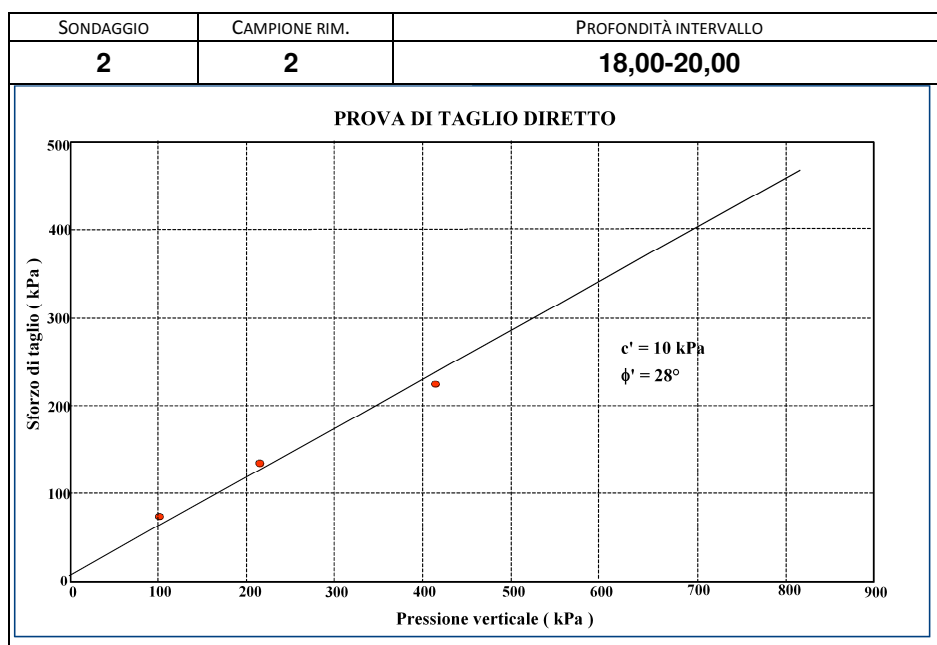


Fig. 11

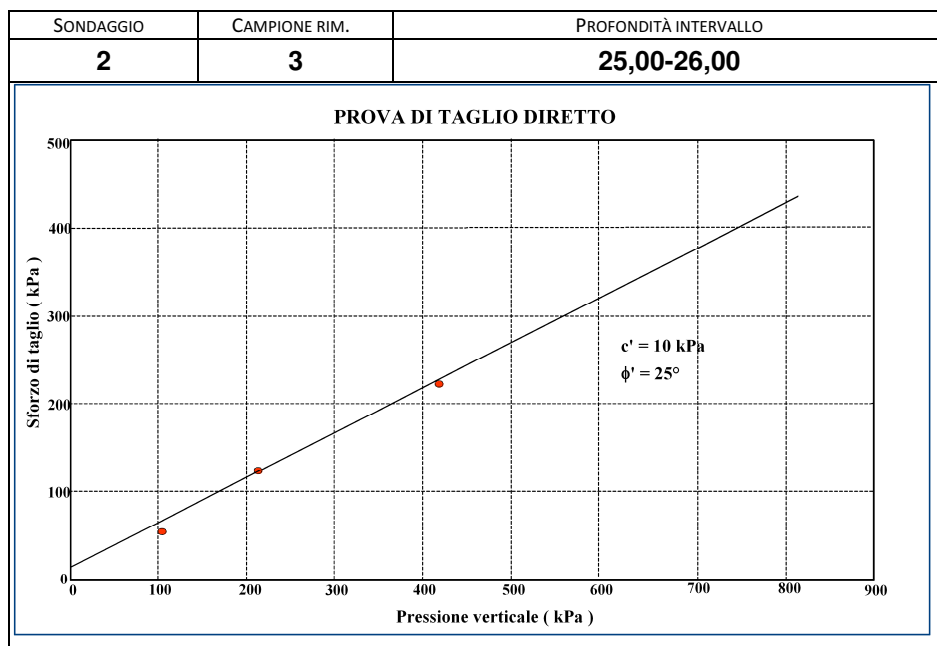


Fig. 12

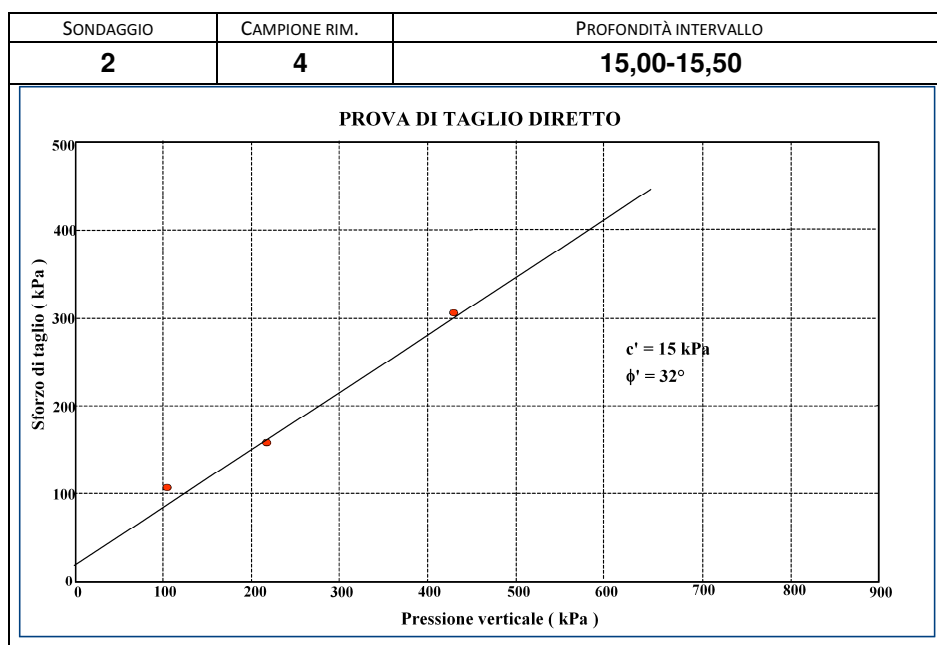


Fig. 13

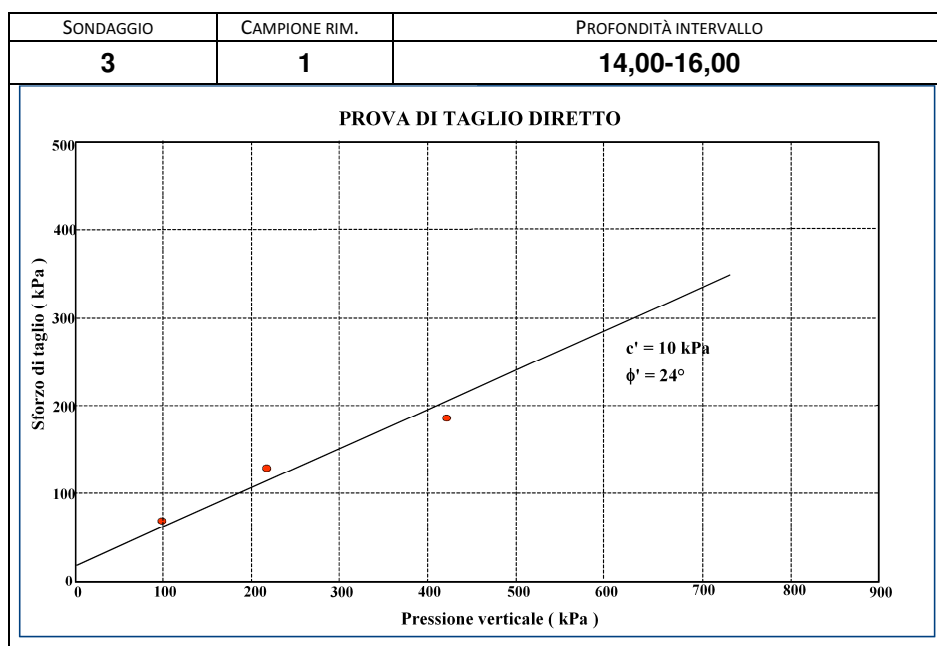


Fig. 14

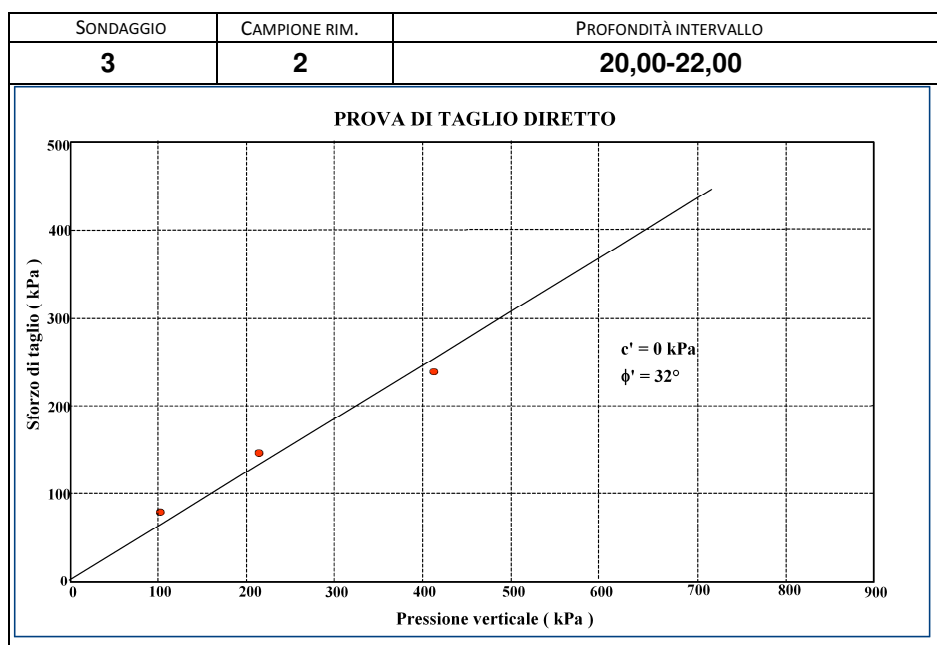


Fig. 15

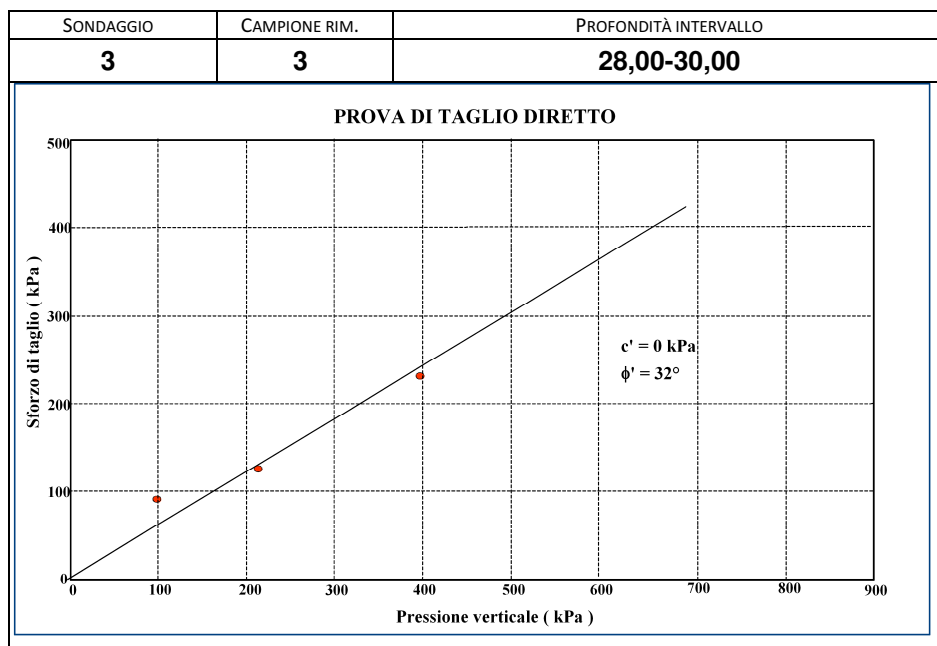


Fig. 16

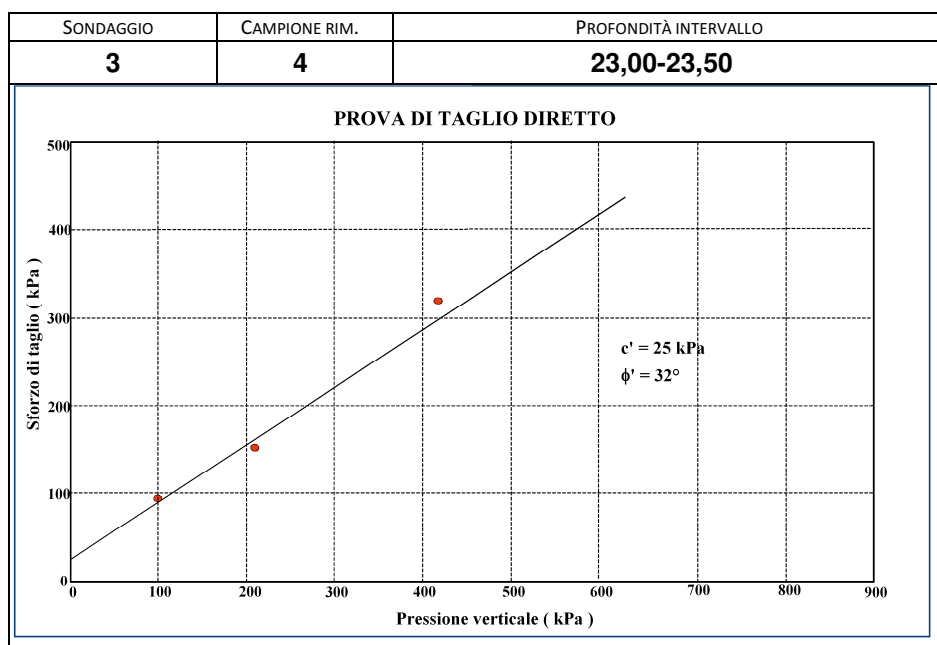


Fig. 17

Da come si evince dai diagrammi le prove di taglio hanno fornito dei parametri, in termini di tensioni efficaci, rientranti nell’ambito dei seguenti valori:

- coesione $c' = 0 - 25 \text{ kPa}$

- angolo di attrito interno $\varphi' = 24^\circ - 35^\circ$

• **Prove SPT (“Standard Penetration Test”)**

Nei livelli più sabbiosi sono state effettuate nel corso dei sondaggi n. 8 prove di penetrazione dinamica “Standard Penetration Test” i cui risultati sono riportati nella seguente tabella.

Sondaggio n.	Prova n.	Quota prova (m)	Numero dei colpi	Indice $N_{\text{spt}30}$
S 1	1	19,50	6 – 5 - 5	10
S 1	2	26,15	12 – 6 - 5	11
S 2	1	12,50	11 – 15 - 23	38
S 2	2	18,50	17 – 24 - 31	55
S 2	3	25,00	20 – 22 - 23	45
S 3	1	15,00	5 – 7 - 8	15
S 3	2	21,00	8 – 9 - 9	18
S 3	3	29,00	7 – 9 - 10	19

Tab. 8

Le prove *S.P.T.* consentono di risalire al comportamento meccanico dei terreni, in particolare quelli incoerenti, sulla scorta di numerose correlazioni proposte da vari AA. tra i parametri geotecnici essenziali ed il valore $N_{\text{spt}30}$ (numero dei colpi necessari all’infrissione degli ultimi due tratti di 15 cm).

La scelta dei valori $N_{\text{spt}30}$ va fatta tenendo conto di numerosi elementi che influenzano i risultati della prova stessa, i principali sono:

- profondità della prova;
- presenza d’acqua;

- granulometria dei sedimenti.

La profondità della prova influenza il risultato N_{spt} , giacché al variare della profondità varia anche la tensione litostatica efficace ($\sigma_v = \gamma \times h$); tra le tante proposte formulate da vari Autori quella che sembra correntemente più convalidata è quella di GIBBS & HOLTZ (1957), i quali introducono un fattore di correzione “CN” ricavabile dal grafico di Fig. 10 (da Cestelli Guidi), al fine di riportare tutte le prove ad una tensione litostratigrafica di riferimento pari ad 1 Kg/cm^2 .

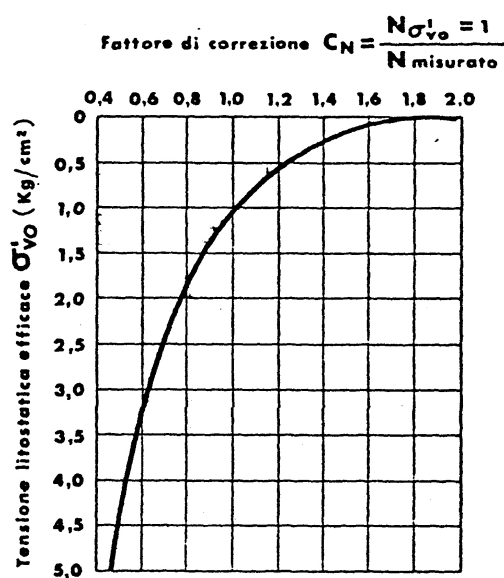


Fig. 18 – Fattore di correzione CN del numero di colpi N della prova S.P.T. in funzione della pressione litostatica efficace

La presenza d’acqua nei terreni formati in prevalenza da sabbie limose addensate, come nel caso in esame, ha influenza sui valori N_{spt30} . Infatti TERZAGHI & PECK (1948), GIBBS & HOLTZ (1957), BAZARAA & PECK (1967 – 1969) consigliano di apportare la seguente correzione:

$$N_{\text{corretto}} = 15 + 0,5 (N_{spt30} - 15), \text{ con } N_{spt30} > 15$$

La granulometria dei sedimenti influenza decisamente i risultati delle prove S.P.T.; numerosi studi sono stati effettuati in tal senso (GIBBS & HOLTZ, 1957; BURMISTER, 1962; DESAI, 1970; MARCUSON & BIEGANOUSKI, 1977;

CERRUTI, 1979) senza però portare ad una definizione quantitativa del problema.

La valutazione dell'angolo di attrito interno in termini di tensione efficace ϕ' , per i terreni incoerenti, può essere eseguita adottando la correlazione proposta da YUKITAKE SHIOI & JIRO FUKUNI (1982) ed utilizzata in Giappone dallo ROAD BRIDGE SPECIFICATION e dallo JAPANESE NATIONAL RAILWAY:

$$\phi' = 0,3 N_{\text{spt30}} + 27$$

Per quanto concerne invece il grado di addensamento dei terreni incoerenti una valutazione può essere fatta ricorrendo alla relazione proposta da MEYERHOF (1957), basata sui dati sperimentali di GIBBS & HOLTZ (1957), che fornisce il valore “stimato” della densità relativa con $\sigma'_v = 1 \text{ Kg/cm}^2$:

$$D_r = 21 \sqrt{N_{\text{spt30}} / (\sigma'_v + 0,7)}$$

Infine, il modulo di compressibilità può essere valutato sulla scorta della correlazione proposta da DENVER (1982):

$$E = s_1 N_{\text{spt30}} + s_2$$

in cui s_1 ed s_2 sono costanti che dipendono dalla granulometria dei sedimenti e, nel caso dei terreni in esame $s_1 = 0,478 \text{ MPa}$ ed $s_2 = 7,17 \text{ MPa}$ (WEBB, 1970)

Il valore medio corretto $N_{\text{spt30cor.}}$ ricavato dalle prove effettuate nell'ambito dei terreni sabbioso-limosi ed utilizzabile per le correlazioni risulta pari a circa:

$$N_{\text{spt30cor.}} = 17$$

a cui corrispondono i seguenti parametri:

- angolo di attrito interno $\phi' = 32^\circ$
- densità relativa $D_r = 66 \%$

- modulo di compressibilità $E = 15,30 \text{ MPa}$

Si tratta quindi di materiali discretamente addensati a cui può verosimilmente essere assegnato un peso di volume: pari a:

$$\gamma = 1,9 \text{ Mg/m}^3.$$

* * * * *

Per quanto riguarda il materiale di riempimento, in assenza di prove geotecniche finalizzate alla valutazione dei parametri di taglio, si possono cautelativamente affidare alla matrice ghiaioso-sabbiosa i seguenti parametri:

- peso di volume $\gamma = 2,0 \text{ Mg/m}^3$

- coesione $c' = 0 \text{ MPa}$

- angolo di attrito interno $\varphi' = 38^\circ$

10. VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE

Come già riportato nel paragrafo “*Caratteristiche litologiche*” geologica, le stratigrafie dei sondaggi geognostici effettuati nell’area in studio hanno permesso di accertare come il substrato di fondazione delle opere in progetto sia costituito in prevalenza da sedimenti costituiti da sabbie a tratti limose con ghiaia, in cui le associazioni granulometriche più rappresentative, determinate con le analisi di laboratorio, sono date da “*sabbie limoso-argillose debolmente ghiaiose*” e da “*sabbie debolmente limose con ghiaia*”, con un coefficiente di uniformità U_c compreso tra i seguenti valori:

$$6 \leq U_c \leq 400$$

dove $U_c = D_{60} / D_{10}$, e D_{60} e D_{10} corrispondono al diametro delle particelle al 60% e al 10% del passante nella curva granulometrica cumulativa.

In riferimento alle Norme Tecniche per le Costruzioni (D. M. 17/01/2018) nel paragrafo “7.11.3.4-Stabilità nei confronti della Liquefazione” vengono indicate le circostanze in cui la verifica a liquefazione può essere omessa (7.11.3.4.2 – Esclusione della verifica a liquefazione) e al punto 4 è contemplato il caso in cui “*la distribuzione granulometrica risulti esterna alla zona Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$* ” (cfr Fig.)

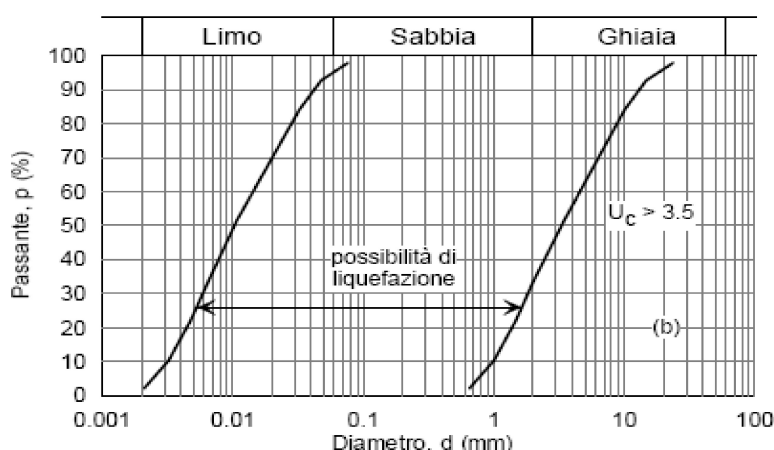


Fig. 19- Fuso granulometrico di terreni suscettibili di liquefazione Fig. 7.11.1(b) NCT

Dal confronto dei dati ricavati dalle distribuzioni granulometriche dei terreni sabbiosi presenti nel substrato del prolungamento della diga foranea e il fuso granulometrico riportano in Fig. 19 si può dedurre l'esclusione della verifica nel caso in esame.

Pur tuttavia questa viene effettuata qui di seguito con il metodo semplificato di Youd e Idris (2001) basato sulle prove dinamiche SPT effettuate in corrispondenza dei terreni sabbiosi rappresentati nella sezione litologica N. 2.

Come già esposto nel precedente paragrafo in corrispondenza nei sondaggi S 2 ed S 3 sono state eseguite n. 6 le prove di penetrazione dinamica “*Standard Penetration Test*” i cui risultati vengono riproposti nella seguente tabella.

Sondaggio n.	Prova n.	Quota prova (m)	Numero dei colpi	Indice N_{spt30}
S 2	1	12,50	11 – 15 - 23	38
S 2	2	18,50	17 – 24 - 31	55
S 2	3	25,00	20 – 22 - 23	45
S 3	1	15,00	5 – 7 - 8	15
S 3	2	21,00	8 – 9 - 9	18
S 3	3	29,00	7 – 9 - 10	19

Tab. 9

Tali valori N_{spt30} , normalizzati secondo quanto indicato nel precedente paragrafo al fine di riportare tutte le prove ad una tensione litostratigrafica di riferimento pari ad 1 Kg/cm², hanno dato un valore medio corretto di

$$N_{spt30cor.} = 19$$

utilizzabile per la valutazione del potenziale di liquefazione.

La valutazione viene effettuata utilizzando un foglio di calcolo che permette di verificare le condizioni di liquefazione dei terreni conoscendo il numero corretto dei colpi $N_{spt30cor.}$, la relativa profondità di prova, il peso specifico, la profondità della falda, le caratteristiche granulometriche e la magnitudo.

Assegnando i seguenti parametri:

$\gamma =$ 2,7 g/cm³ (peso specifico del terreno)

$z =$ 500 cm (profondità dello strato di riferimento relativo ad una tensione litostratigrafica pari ad 1 Kg/cm²)

$N_{spt30cor.} =$ 19 (numero dei colpi normalizzato N₁₆₀)

$z_1 =$ 500 cm (profondità della falda)

$N_r =$ 5 (fattore in funzione del CF > 0,1)

$a_{max}/g =$ 0,25 (valore di accelerazione orizzontale al suolo per zona sismica 2)

$r_d =$ 0,96175 (coefficiente in funzione della profondità)

dall’elaborazione dei dati si ricava un fattore di sicurezza verificato nei confronti della potenzialità di liquefazione dei terreni in esame pari a circa:

$$F_s = 2,08$$

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					
(da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato					
Metodo di Youd e Idris (2001)					
PARAMETRI:					
γ	=	2,7	g/cm ³		
σ_{vo}	=	1,35	kg/cm ²		
σ_{vo}'	=	1,35	kg/cm ²		
profondità della prova	=	500	cm		
N_{SPT}	=	19			
profondità falda	=	500	cm		
γ_{H_2O}	=	1,0	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,0	kg/cm ²		
z	=	5	m		
FORMULE:					
N_a	=	$N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo}' + 0,7)) + N_r$		=	20,75609756
N_r	=	5			
R	=	$0,2565 * [0,16 * RadQNa + (0,2133 * RadQNa)^{1,4}]$		=	0,325068393
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}' / \sigma_{vo})) * r_d$		=	0,156284375
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96175			
$F_s = R/T$	>	1,3	Sabbie sciolte	=	2,079980118
	>	1,5	Sabbie mediamente addensate		
					Verificato F_s
					Verificato F_s
"Software Freeware distribuito da geologi.it" Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco Via Torrente Trapani n. 13 - MESSINA (ME) - 98121 - E mail: sg.monaco@libero.it - Tel: 3394103820					

Tab 10

11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Da quanto esposto nei paragrafi precedenti circa le caratteristiche morfologiche, geolitologiche e geotecniche dei terreni interessati dai “Lavori di potenziamento delle opere marittime esistenti per la messa in sicurezza e prolungamento diga foranea del porto di Castellammare del Golfo”, è possibile formulare un quadro generale delle condizioni dell’area in studio, sintetizzabile nelle seguenti considerazioni ed osservazioni:

- dal punto di vista morfologico il porto è situato in una parte di territorio pianeggiante a cui corrisponde una categoria topografica di tipo “T1” (D.M 17/01/2018);
- i lineamenti geolitologici sono dati principalmente dalla presenza di materiali di riporto, che formano il corpo diga, sovrastanti a depositi sabbiosi talvolta intercalati da piccoli strati calcarenitici;
- dal punto di vista tettonico non sono state individuate delle dislocazioni nell’area del porto;
- è stato fatto cenno alla sismicità del territorio comunale (ricadente tra le zone sismiche di II categoria) legata ai grossi eventi sismici a carattere regionale, mentre per quanto riguarda la caratterizzazione sismica locale il sottosuolo dell’area in esame risulta appartenere alla categoria “D” (D.M 17/01/2018);
- il comportamento meccanico delle sabbie del substrato si esplica mediante dei buoni valori dell’angolo di attrito interno ϕ' ;
- infine per quanto riguarda la suscettibilità nei confronti della liquefazione le sabbie del substrato presentano un fattore di sicurezza verificato ($F_s = 2,08$).

Il Geologo

Dott. Alessandro Spampinato



APPENDICE

NOTE DI RISCONTRO ALLE OSSERVAZIONI

In relazione al Rapporto Iniziale di Verifica del Progetto (Documento n°: J17535/21/RG/ddr del 27.04.2021) dell’Ente Italiano di Accreditamento ACCREDIA, qui di seguito vengono espone, in merito alla **Relazione geologica - Limitatamente alla parte di caratterizzazione sismica e geotecnica**, le seguenti note di riscontro alle osservazioni e alle non conformità.

caratterizzazione sismica

(pag. 17): in assenza del requisito di un "graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità" richiesto dalle NTC 2018 (cfr Tab. 3.2.II) è necessario predisporre specifiche analisi di RSL per la definizione delle azioni sismiche (cfr. § 3.2.2)

In relazione alla richiesta di “**predisporre specifiche analisi di RSL per la definizione delle azioni sismiche**” con rinvio al (cfr. §3.2.2) delle NTC si fa presente quanto segue:

Lo studio geologico, complessivamente predisposto e restituito (pagg. da 4 a 9), ha avuto anche la finalità di individuare il modello geologico di riferimento, previsto dagli aggiornamenti del 2018 delle NTC, segnatamente riguardo la profondità del substrato geologico e la sua coincidenza, o meno, con il bedrock geofisico.

La serie stratigrafica individuata, pertanto, è risultata costituita da una serie, essenzialmente, detritica, di ambiente da parafanico a continentale, che sormonta una formazione di calcari dolomitici e dolomie ascrivibili all’Unità di M.te Inici che appartiene alla formazione calcareo-dolomitico-selciosa del basamento autoctono siciliano databile dal Lias al Trias superiore. Per caratteristiche litologiche e spessore (fino a 400metri) tale formazione è identificabile con il substrato geologico locale (vedi pag. 8 della relazione di consulenza). Ancora il comparto apicale della successione è interessato da fenomeni di dolomitizzazione e fratturazione, conseguenti il sollevamento tettonico dislocativo nell’odierna posizione. Tali condizioni litologiche impediscono la coincidenza dell’orizzonte basale con il bedrock

geofisico, definito come il livello al di sotto del quale le onde trasversali si spostano a velocità eguali o superiori a 800 m/s. Pertanto quest'ultimo va posto nelle isobate più interne della formazione dei calcari e dolomie triassiche, in cui sono raggiunti i minori valori del coefficiente di Poisson (0,1/0,2) e realizzate le anzidette condizioni geofisiche. L'assenza della formazione calcarea entro i 30 metri di profondità dal fondale marino, nell'area interessata dal progetto di cui trattasi, anche se non completamente esplorata dai sondaggi eseguiti, è stata determinata sulla base del dato geologico di superficie confermato anche da informazioni geognostiche disponibili in aree immediatamente adiacenti alla nostra e, segnatamente, dalle risultanze dell'indagine geofisica che ha rilevato velocità delle onde di taglio di 137 m/s oltre i 30 metri di profondità quindi molto lontane dal valore previsto per il bedrock geofisico. In queste condizioni la categoria di terreno può essere determinata dal calcolo del Vs30 che fornisce, a partire dal modello di velocità ottenuto con l'indagine MASW, il valore di 145,167 m/s. Sulla base di questo la colonna stratigrafica rientra nella categoria D di sottosuolo (Tabella 3.2.II delle NTC).

Ulteriore conferma può essere ottenuta a partire dai valori ottenuti per le prove SPT che forniscono un valore NSPT 30 = 12.28 quindi inferiore a 15 che è l'intervallo superiore previsto per classificare con questo calcolo la categoria di terreno D.

caratterizzazione geotecnica:

pag. 16 e successive: in riferimento alla lunghezza pari a 30 m dei pali lato baia (partendo al di sotto di 2 m, ovvero dall'intradosso del sistema cordolo+impalcato banchina), il volume significativo non è completamente esplorato al di sotto della punta degli stessi (i sondaggi raggiungono al massimo 30 m dal p.c.)

In riferimento alla lunghezza dei pali per cui risulterebbe “il volume significativo non completamente esplorato” restano valide le superiori deduzioni tenendo conto che il sondaggio S3 a 29 m di profondità (20 metri dal fondale) realizza un valore di Nspt pari 10, ben compatibile con il valore di velocità Vs di 137 m/s ottenuto dalla prova MASW che giustifica l'estrapolazione fino alla profondità di 39 m (quindi entro il volume coinvolto dalle tensioni indotto dai pali in progetto) ed è supportato dal modello geologico ricostruito.

Inoltre dai dati forniti dal progettista, in merito allo stato di fatto della diga foranea esistente, la trave di coronamento della palancolata si trova ad una quota di m 1,5 rispetto al livello del mare mentre la sovrastruttura lato mare ad una quota di m 1,00.

Dei tre sondaggi geognostici due sono stati effettuati in corrispondenza del coronamento della palancolata (S 1 spinto sino alla profondità di m 30 ed S 3 spinto sino alla profondità di m 35) mentre il terzo in corrispondenza della sovrastruttura lato mare (S 2 spinto sino alla profondità di m 30).

Pertanto i tre sondaggi, rispetto alla quota 0 m del livello del mare, sono stati spinti sino alle seguenti profondità:

- S 1 28,50 m
- S 2 29,00 m
- S 3 33,50 m

I pali previsti in progetto hanno una lunghezza di circa 30 m e, in riferimento alla quota 0 m del livello del mare, raggiungeranno una profondità di m 26,5. Pertanto con i sondaggi si è esplorato al di sotto della punta degli stessi un volume di altezza variabile da 2 a 7 m.

pag 34: l'analisi delle prove su TD cd campioni rimaneggiati ricostituiti oltre che alle prove SPT (corretti) dei soli sondaggi (S1 e S3) porta a concludere su valori di Phi ben più bassi di quelli esposti, dell'ordine di 29-29,5

Prove di laboratorio

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni sabbiosi, come già descritto nella Relazione geologica, sono stati sottoposti a prove di laboratorio n° 11 campioni rimaneggiati i cui risultati sono stati tabulati e diagrammati nell'elaborato “Prove geotecniche di laboratorio”.

Le analisi granulometriche dei campioni sono risultate per lo più rientranti nei campi delle “sabbie limoso-argillose debolmente ghiaiose” e delle “sabbie debolmente limose con ghiaia”, mentre i parametri di taglio, ricavati in termini di tensioni efficaci da prove di taglio diretto in condizioni consolidate e drenate con apparecchio di Casagrande su tre provini ricostituiti e rappresentativi della matrice sabbiosa, sono risultati rientranti nell'ambito dei seguenti valori:

- coesione $c' = 0 - 25 \text{ kPa}$

- angolo di attrito interno $\varphi' = 24^\circ - 35^\circ$

con un valore medio

- coesione $c' = 12 \text{ kPa}$

- angolo di attrito interno $\varphi' = 29^\circ$

Prove Standard Penetration Test

Come già esposto nella relazione, nei livelli più sabbiosi sono state effettuate nel corso dei sondaggi n. 8 prove di penetrazione dinamica “Standard Penetration Test”.

Nella tabella che segue sono riportati per ogni sondaggio le quote di prova, il numero dei colpi, l'indice $N_{\text{spt}30}$ ottenuto, quello corretto ($N_{\text{spt}30\text{cor.}}$) in funzione delle profondità di prova al fine di riportare tutte le prove ad una tensione litostratigrafica di riferimento pari ad 1 Kg/cm^2 e la valutazione dell'angolo di attrito interno in termini di tensione efficace φ' adottando la correlazione proposta da YUKITAKE SHIOI & JIRO FUKUNI (1982) ed utilizzata in Giappone dallo ROAD BRIDGE SPECIFICATION e dallo JAPANESE NATIONAL RAILWAY: $\varphi' = 0,3 N_{\text{spt}30} + 27$

Sondaggio n.	Prova n.	Quota prova (m)	Numero dei colpi	Indice $N_{\text{spt}30}$	Indice $N_{\text{spt}30\text{cor.}}$	φ' (di picco)
S 1	1	19,50	6 – 5 - 5	10	6	29°
S 1	2	26,15	12 – 6 - 5	11	6	29°
S 2	1	12,50	11 – 15 -	38	31	36°
S 2	2	18,50	17 – 24 -	55	35	37°
S 2	3	25,00	20 – 22 -	45	26	35°
S 3	1	15,00	5 – 7 - 8	15	11	30°
S 3	2	21,00	8 – 9 -9	18	10	30°
S 3	3	29,00	7 – 9 -10	19	10	30°

Tab. 1

Da una prima analisi dei valori si evince che quelli ricavati dai sondaggi effettuati direttamente a mare con attrezzatura piazzata lungo il coronamento della palancolata danno

dei valori bassi, mentre quelli ricavati dal sondaggio effettuato sulla sovrastruttura, senza attraversare il mare per raggiungere il substrato, forniscono valori più alti. Tale discrepanza con ogni probabilità è dovuta alla difficoltà nell'esecuzione delle prove. E' verosimile che maggiore attendibilità si possa avere dalle prove effettuate nel Sondaggio S2 dove il valore medio è pari a $N_{\text{spt30cor.}} = 31$ a cui corrisponde un angolo di attrito interno di picco $\phi' = 36^\circ$.

Comunque, per maggior cautela, si è preferito determinare l'angolo di attrito interno utilizzando il valore medio $N_{\text{spt30cor.}} = 17$ a cui corrisponde un $\phi' = 32^\circ$.

* * * * *

Si fa presente che nella scelta dei parametri di taglio dei terreni prevalentemente sabbiosi costituenti il substrato interessato dagli interventi in progetto si è tenuto conto anche della seguente considerazione:

in laboratorio, da campioni rimaneggiati di natura sabbioso-ghiaiosa, vengono sottoposti a prove di taglio diretto CD dei provini ricostituiti rappresentativi della matrice (materiale passante al setaccio di apertura 2 mm) e pertanto l'angolo di attrito ottenuto è quello da attribuire alla resistenza al taglio vicina alla “rottura a volume costante” (ϕ_{cv}) che è inferiore a “quella di picco” (ϕ_p) misurata in situ con le prove SPT.

Quindi le prove di taglio hanno permesso di conoscere i valori più bassi del campo di variabilità dei parametri geotecnici del substrato interessato dalla realizzazione dei pali ed utilizzare nei calcoli un angolo $\phi' = 32^\circ$, ricavato dai valori medi di $N_{\text{spt30cor.}}$, è un approccio sicuramente cautelativo in quanto con ogni probabilità la “resistenza al taglio di picco” dei materiali rinvenuti durante i sondaggi geognostici è più alta.

Il Geologo

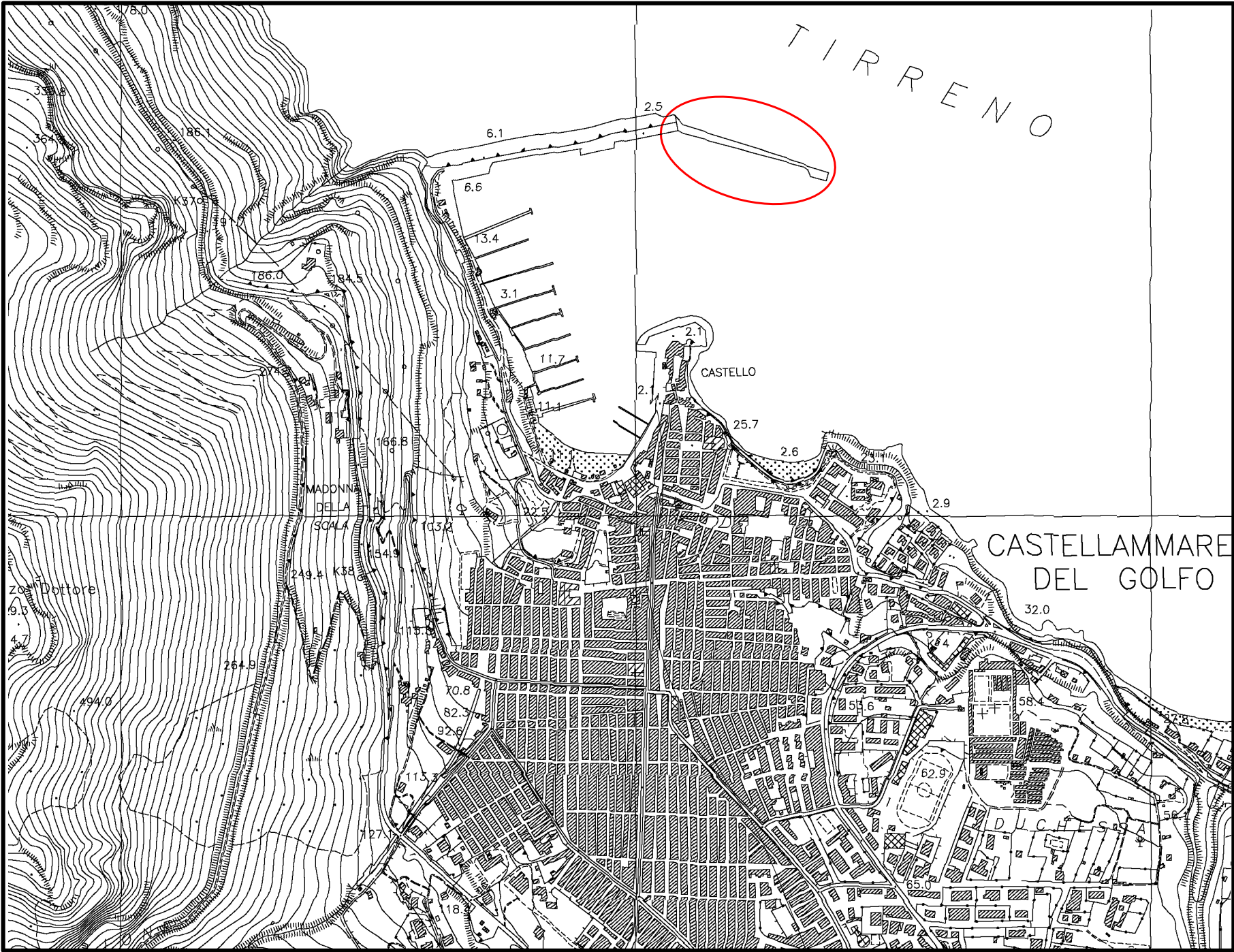
Dott. Alessandro Spampinato



ALLEGATI

STRALCIO CARTAGRAFICO

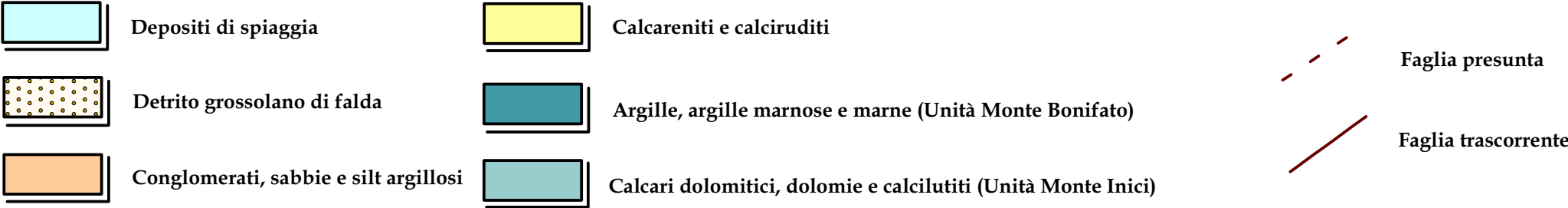
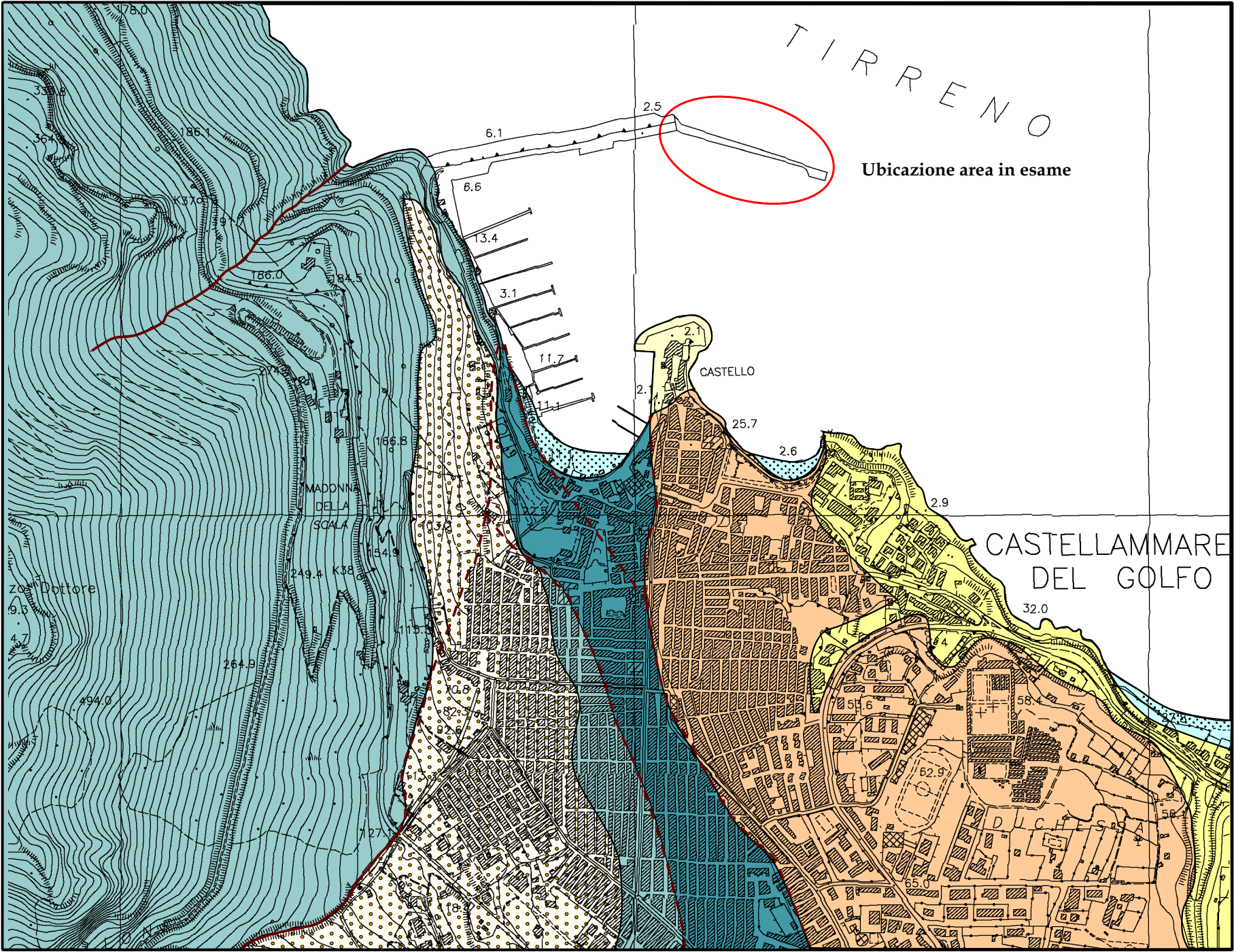
Scala 1 : 10.000



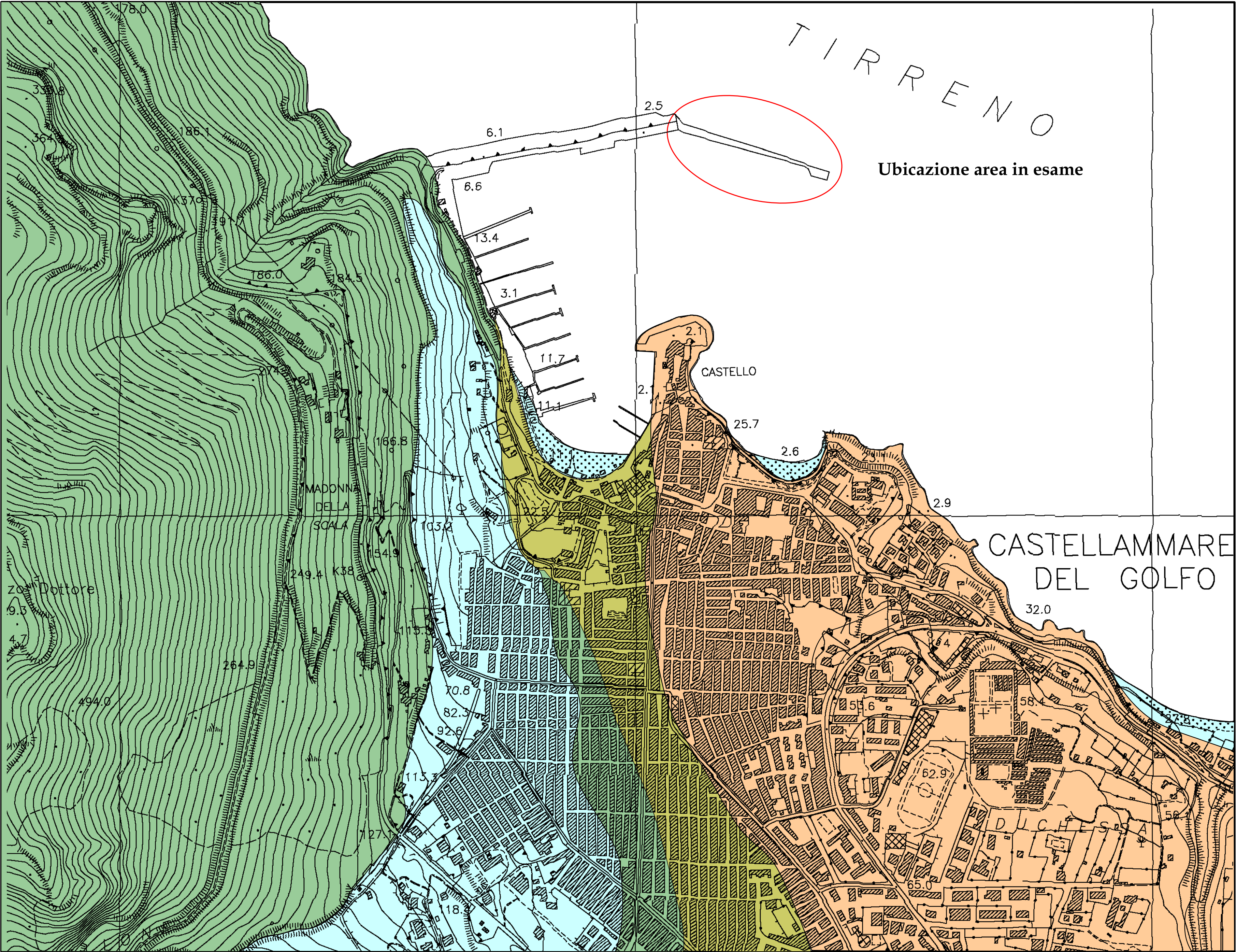
Ubicazione area in esame





STRALCIO DI CARTA GEOLOGICA

Scala 1 : 10.000



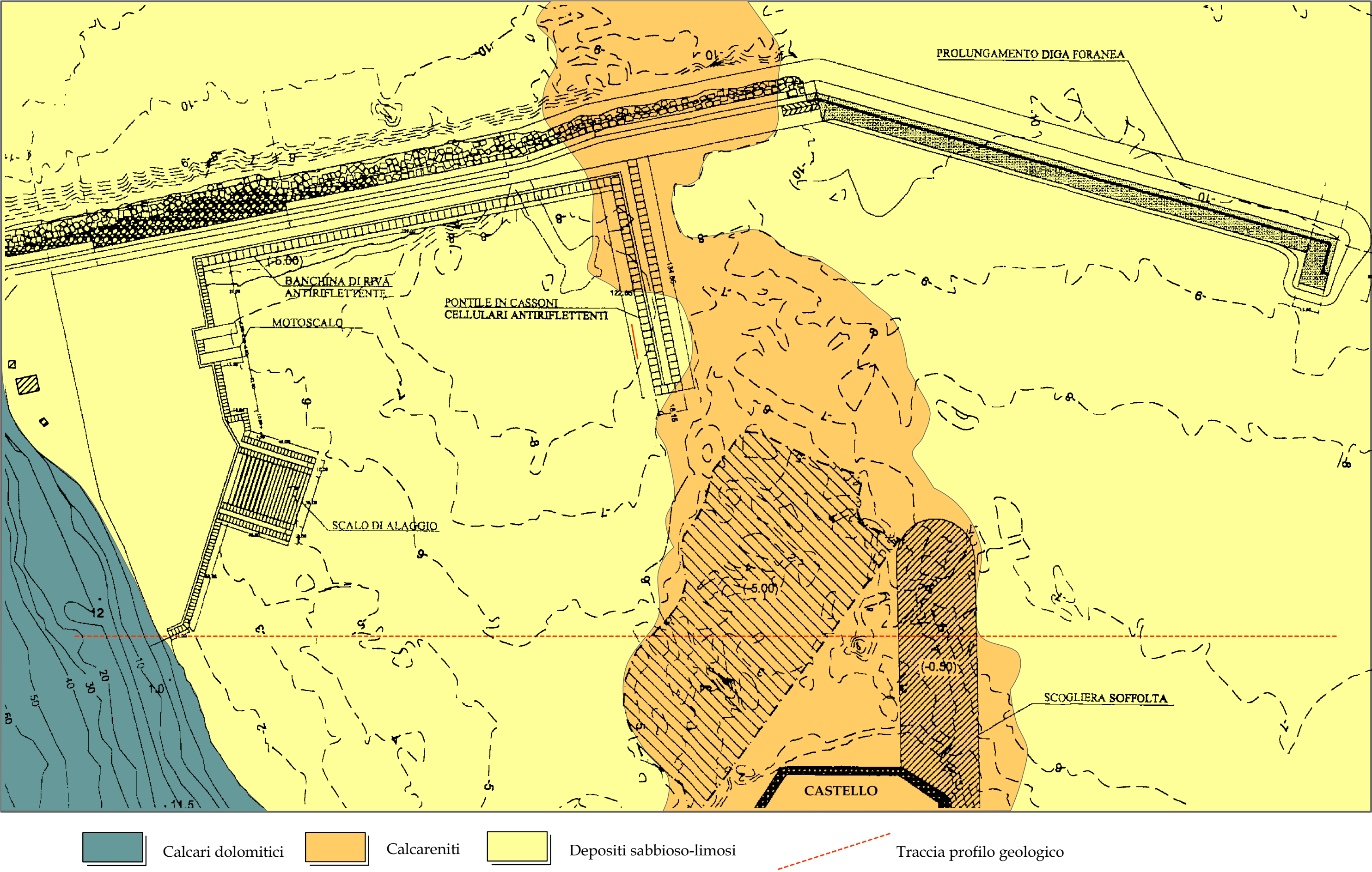
STRALCIO DI CARTA IDROGEOLOGICA
Scala 1 : 5.000



- | | |
|--|--|
|  Calcarei dolomitici, dolomie e calcilutiti
Permeabilità in grande per fratturazione |  Conglomerati, calcareniti e calciruditi con livelli di sabbie
Permeabilità in grande per fratturazione e per porosità nei livelli sabbiosi |
|  Depositi di spiaggia e detrito grossolano di falda
Permeabilità medio-alta per porosità |  Argille, argille marnose e marne
Permeabilità da bassa a nulla |

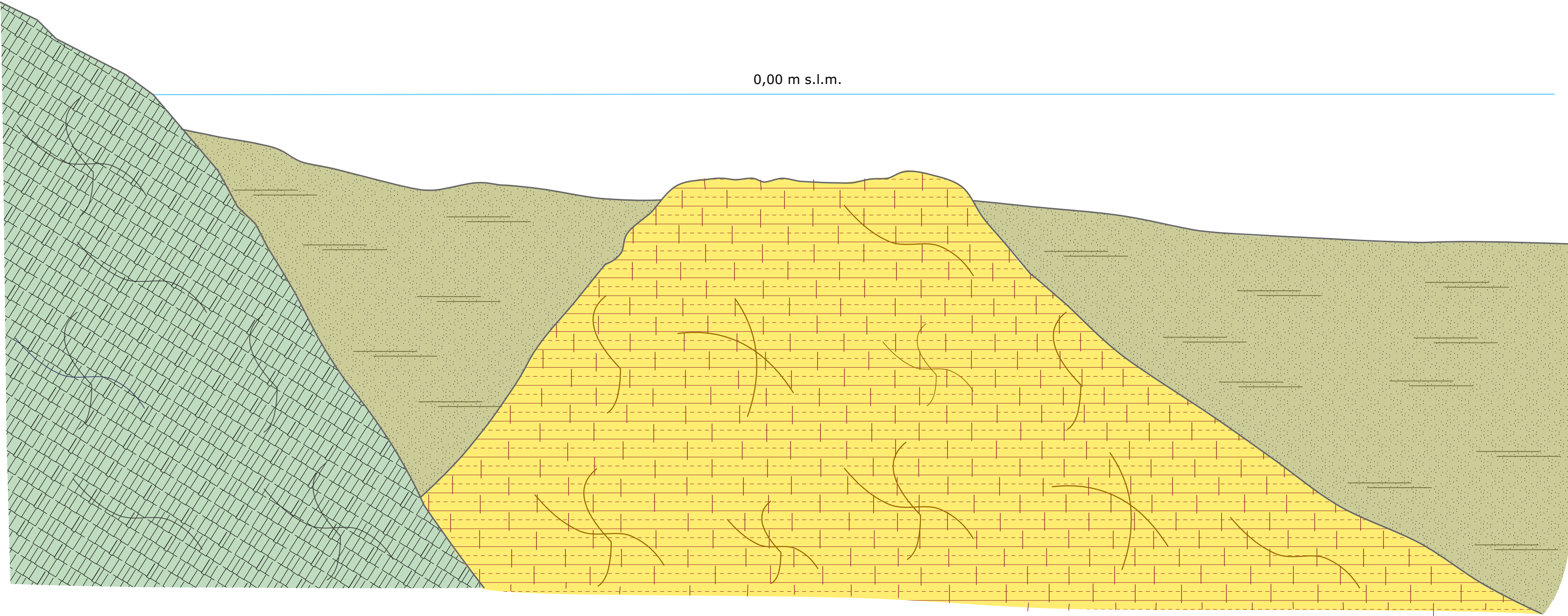
STRALCIO DI CARTA GEOLOGICA DEL SEDIME PORTUALE

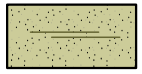
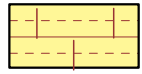
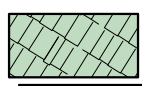
Scala 1 : 2.000

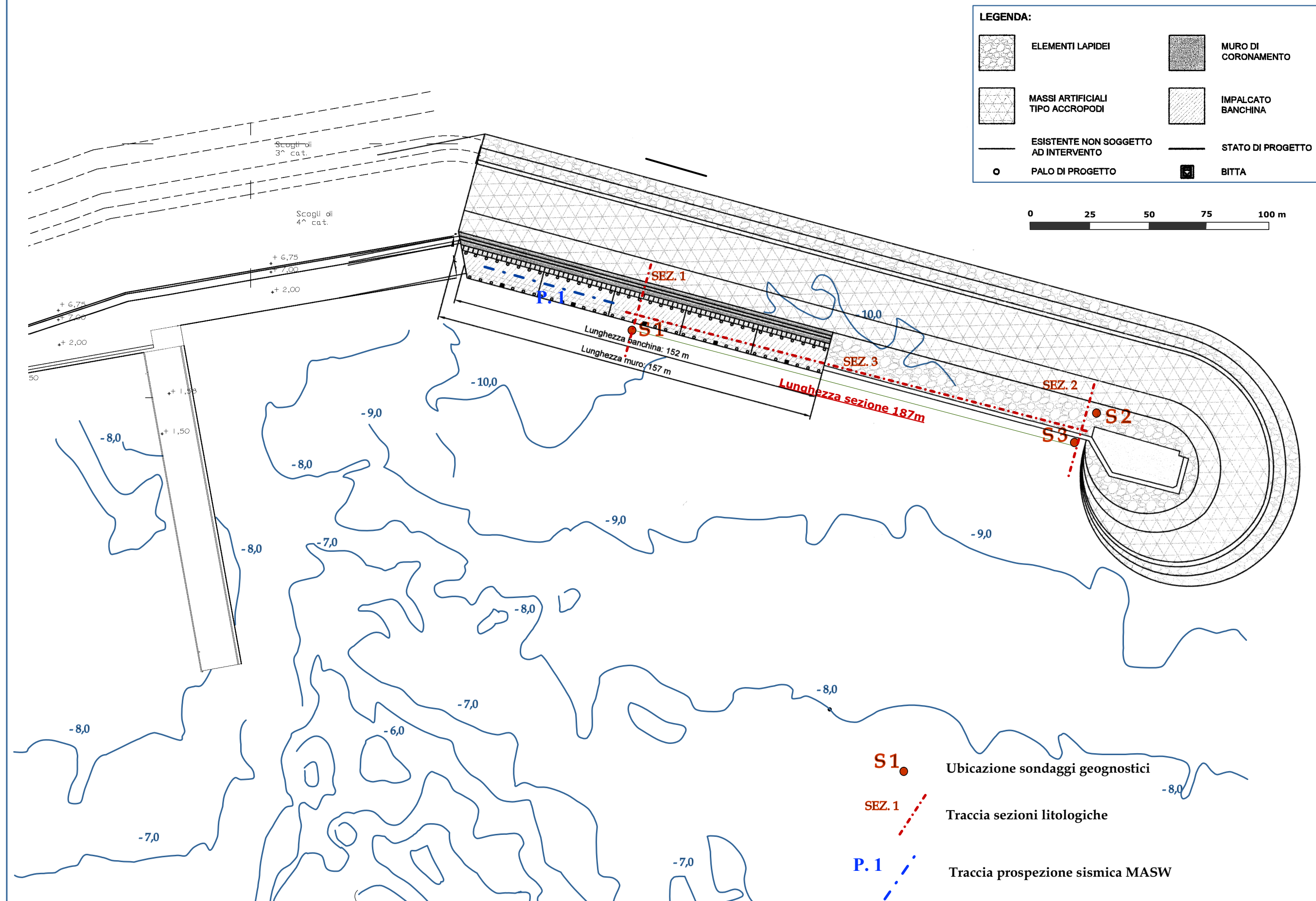


PROFILO GEOLOGICO DEL SEDIME PORTUALE

Scala 1 : 2.000/200

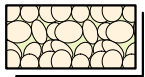
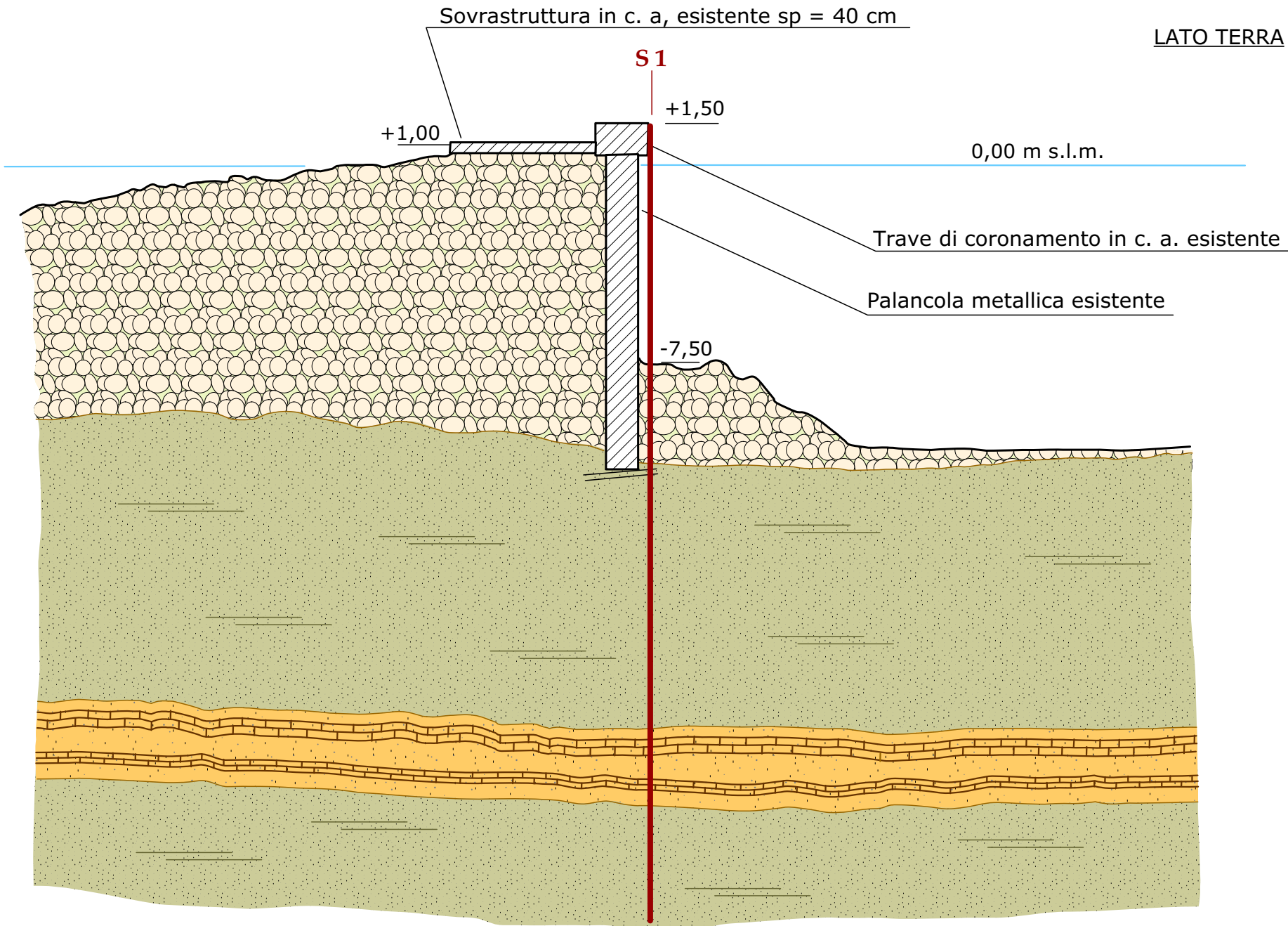


-  Depositi sabbioso-limosi
-  Calcareniti
-  Calcari dolomitici

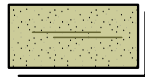


SEZIONE LITOLOGICA N. 1 (STATO DI FATTO)

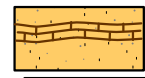
Scala 1 : 200



Conglomerato calcarenitico in grossi blocchi di riporto



Sabbie bruno-verdastre debolmente limose



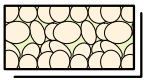
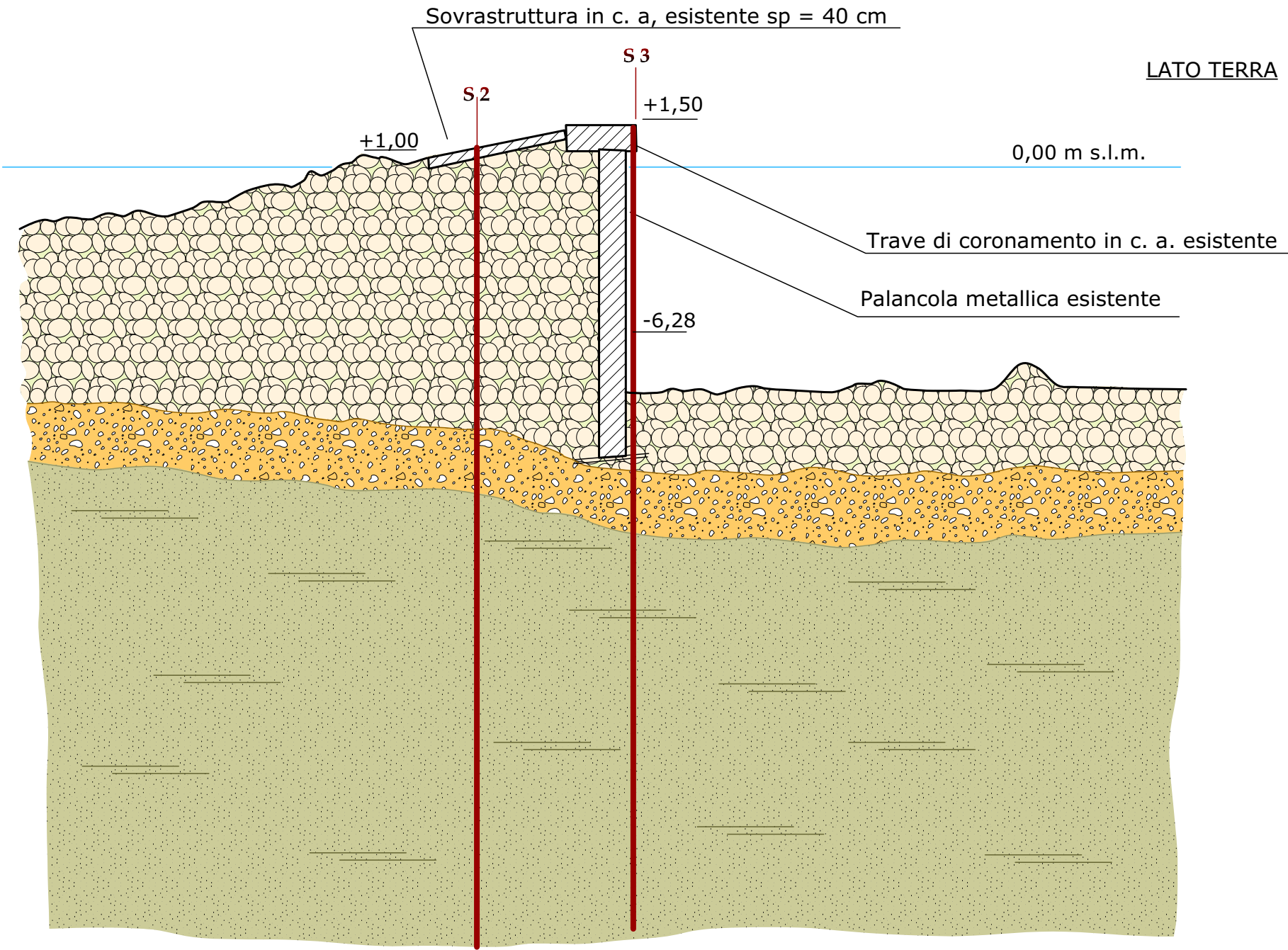
Sabbie brune alternate a piccoli strati di calcareniti

S1

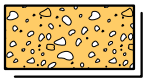
Ubicazione sondaggio geognostico

SEZIONE LITOLOGICA N. 2 (STATO DI FATTO)

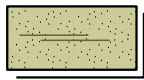
Scala 1 : 200



Conglomerato calcarenitico in grossi blocchi di riporto



Sabbie brune miste a frammenti calcarei



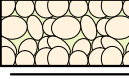
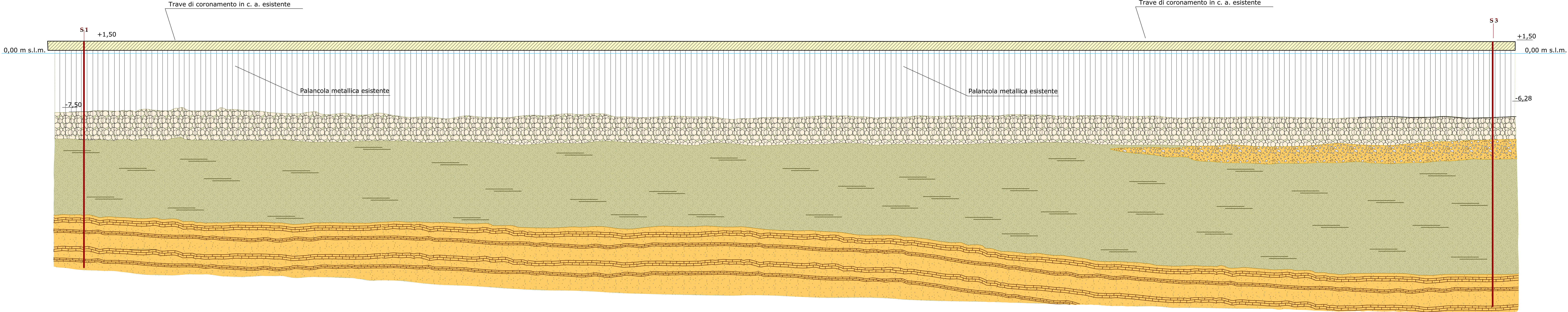
Sabbie bruno-verdastre debolmente limose

S 2

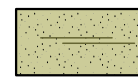
Ubicazione sondaggio geognostico

SEZIONE LITOLOGICA LONGITUDINALE (STATO DI FATTO)

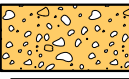
Scala 1 : 200



Conglomerato calcarenitico in grossi blocchi di riporto



Sabbie bruno-verdastre debolmente limose



Sabbie brune miste a frammenti calcarei



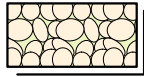
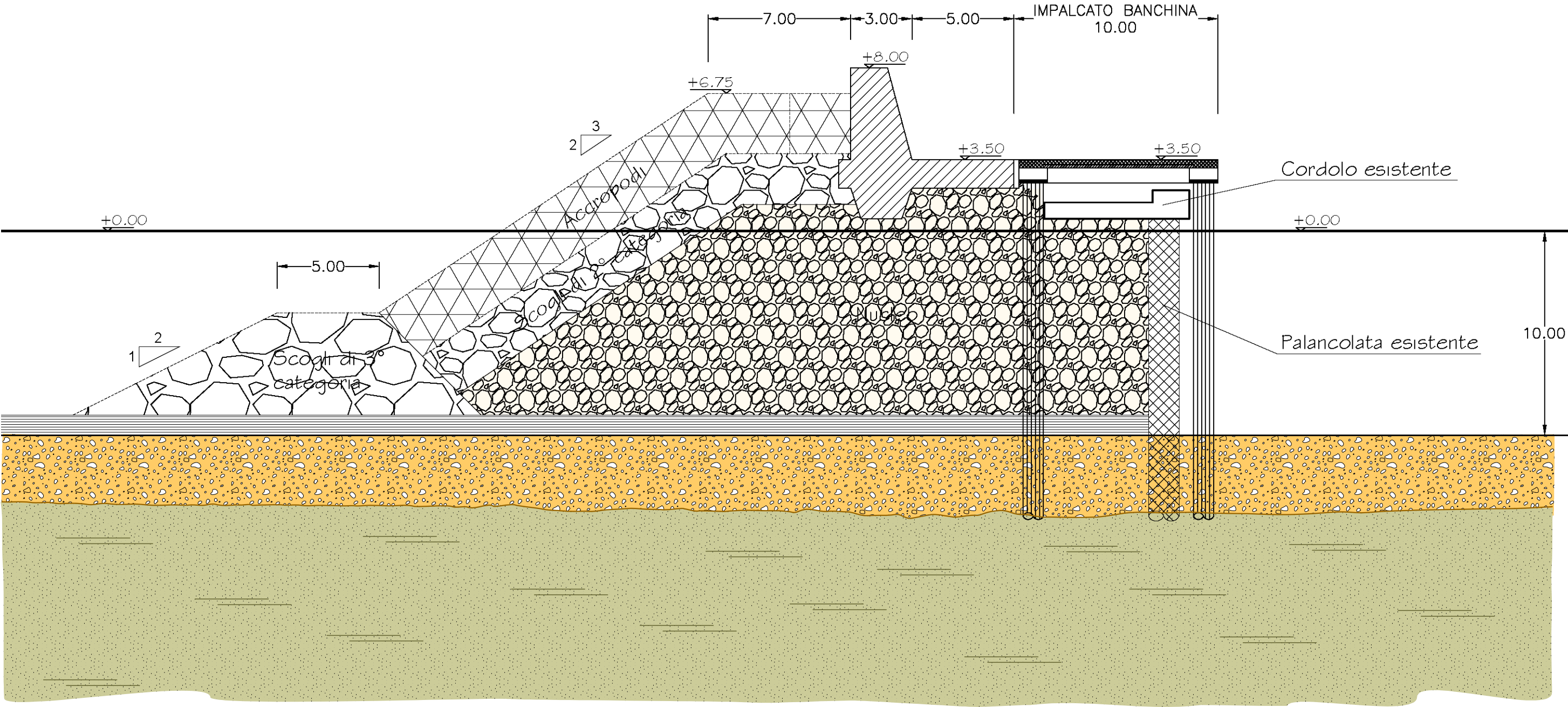
Sabbie brune alternate a piccoli strati di calcareniti

S1

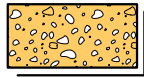
Ubicazione sondaggio geognostico

SCHEMA DI SEZIONE LITOLOGICA TRASVERSALE DI PROGETTO

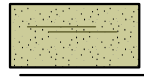
Scala 1 : 200



Conglomerato calcarenitico in grossi blocchi di riporto



Sabbie brune miste a frammenti calcarei



Sabbie bruno-verdastre debolmente limose