

REGIONE LAZIO COMUNE DI GAETA

COMUNE DI GAETA
5 - MAR 2014
PROT. 9538

PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO

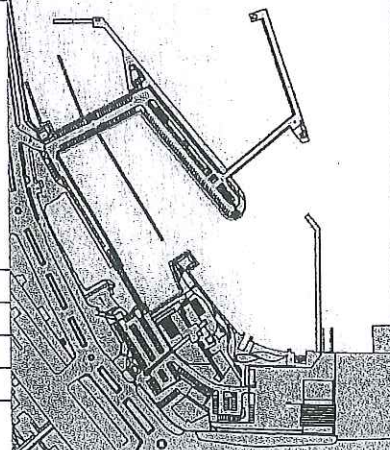
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"



PROGETTO DEFINITIVO PARTE GENERALE

Titolo:

Relazione Geotecnica e Sismica



Revisione	Data	Firme
0	Dicembre 2013	

Committente: BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA S.P.A.

Project Manager: ARCH. NICOLA CINQUE

Progettisti:

Strutture - opere a terra: Gamma Ingegneria | ING. ROBERTO CASTELLUCCIO
ING. NICOLA MARCHETTI | ING. VERONICA VITIELLO

Strutture - opere a mare:

Implanti: ING. ANTONIO NAPOLITANO

Geologia e Geotecnica: GEOL. ANNAMARIA PERILLO | ING. PIETRO DI STEFANO

Scala:

Elaborato:

Re.03



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

RELAZIONE GEOTECNICA E SISMICA

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3	CENNI SULLA GEOLOGIA DELL'AREA.....	6
4	INDAGINI GEOGNOSTICHE	8
5	STRATIGRAFIA.....	10
5.1	Esame delle indagini eseguite.....	10
6	CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITA' STRATIGRAFICHE	15
6.1	Analisi dei dati	15
6.2	Prove DSPTH.....	16
6.3	Unità stratigrafica A – riporto antropico / trovanti lapidei	19
6.3.1	Caratteristiche fisiche	20
6.3.2	Caratteristiche meccaniche - rottura	21
6.3.3	Caratteristiche meccaniche - deformabilità.....	22
6.4	Unità stratigrafica B/B1 – Limo sabbioso.....	23
6.4.1	Caratteristiche fisiche	24
6.4.2	Caratteristiche meccaniche - rottura	25
6.4.3	Caratteristiche meccaniche - deformabilità.....	26
6.5	Unità stratigrafica C – Sabbia	30
6.5.1	Caratteristiche fisiche	30
6.5.2	Caratteristiche meccaniche - rottura	31
6.5.3	Caratteristiche meccaniche - deformabilità.....	32
6.6	Unità stratigrafica D – Limo.....	33
6.6.1	Caratteristiche fisiche	33
6.6.2	Caratteristiche meccaniche - rottura	35
6.6.3	Caratteristiche meccaniche - deformabilità.....	36
6.7	Prove sismiche	38
7	CLASSIFICAZIONE SISMICA AI SENSI DEL DM 14/01/2008.....	40
8	POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....	42
8.1	Magnitudo attesa al sito	42
8.2	Analisi granulometrica	43
8.3	Numero di colpi SPT normalizzato $(N_1)_{60}$	44
8.4	Accelerazione in campo aperto attesa	45



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

2 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Legge n. 1086 del 5 Novembre 1971. «Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso, ed a struttura metallica».

Legge n. 64 del 2 febbraio 1974. «Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche».

D.M. del 4 maggio 1990. «Aggiornamento delle norme tecniche per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo dei ponti stradali».

DM del 14 Gennaio 2008 «Testo unico per le costruzioni».

DGR Lazio n 387 del 22 Maggio 2009 "Nuova classificazione sismica del territorio della Regione Lazio in applicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3519 del 28 Aprile 2006 e della DGR Lazio 766/03"

DGR Lazio n 835 del 3 Novembre 2009 " Rettifica all'Allegato 1 della DGR Lazio 387 del 22 Maggio 2009"

DGR Lazio 545 del 26 novembre 2010 "Linee guida per l'utilizzo degli Indirizzi e Criteri generali per gli Studi di Microzonazione Sismica nel territorio della Regione Lazio di cui alla DGR Lazio n. 387 del 22 maggio 2009. Modifica della DGR n. 2649/1999."

DGR Lazio n. 490 del 21 ottobre 2011 " Approvazione degli Abachi Regionali per gli studi di Livello 2 di Microzonazione Sismica ai sensi della DGR Lazio n. 545 del 26 dicembre 2010 e procedure di applicazione nell'ambito del rilascio del parere ai sensi dell'art. 89 del DPR del 6 giugno 2001 n. 380. Modifica alla Deliberazione Regionale n.545/2010"



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

DGR Lazio 489 del 17 Ottobre 2012 "Modifica dell'Allegato 2 della DGR Lazio n. 387 del 22 maggio 2009."

DGR Lazio 535 del 2 Novembre 2012 "Modifiche alla DGR Lazio n. 545 del 26 novembre 2010 e alla DGR Lazio n. 490 del 21 ottobre 2011"

Regolamento regionale 02 del 7 Febbraio 2012 " Snellimento delle procedure per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di prevenzione del rischio sismico.

DCR Lazio n. 17 del 04 Aprile 2012 "Piano di assetto idrogeologico"



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

3 CENNI SULLA GEOLOGIA DELL'AREA

L'inquadramento geologico dell'area in esame è oggetto di specifica relazione a firma della Dott. Anna Maria Perillo, nel presente paragrafo si intendono fornire di essa quei brevi richiami che siano funzionali ad una migliore comprensione della presente.

L'area in oggetto ricade nel Foglio n 171, "Gaeta" della Carta Geologica d'Italia in scala 1:100.000 redatta dall'IGM, ed è situata all'interno della rada di Gaeta, nell'area a ridosso del promontorio di Monte Orlando.

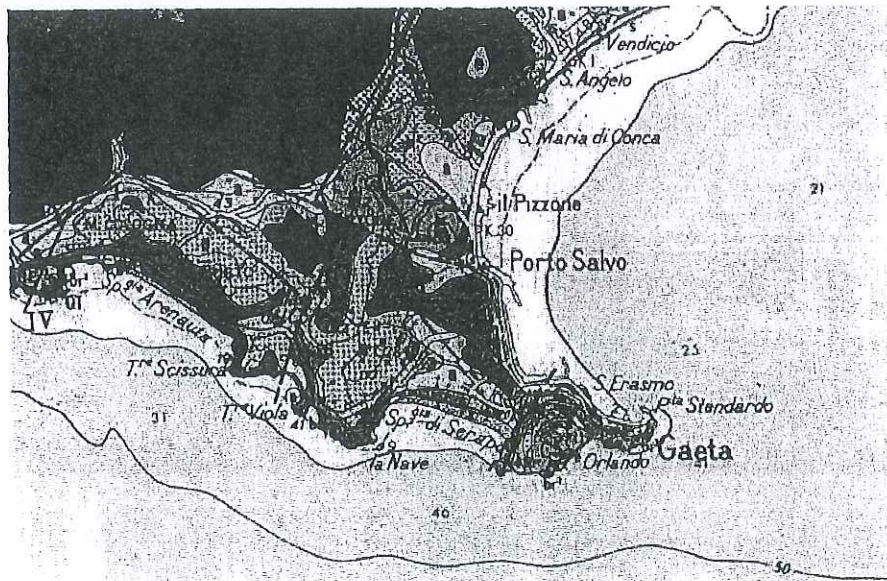


Figura 1: Stralcio del foglio 171 "Gaeta" della Carta Geologica d'Italia 1:100000 (N.I.S.)

L'area è caratterizzata dalla presenza di terreni calcarei e calcarenitici che costituiscono la litologia prevalente, cui si sovrappongono depositi quaternari alluvionale, nelle aree costiere costituite da sedimenti di spiaggia. Questi ultimi sono spesso marcati dalla presenza di depositi detritici derivanti dal disfacimento delle rocce carbonatiche, costituiti da pezzame litoide poligenico ed eterodimensionale, da debolmente a ben



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

cementato, immersi frequentemente in matrice sabbiosa. Le sabbie che si rinvergono lungo la fascia costiera sono di colore giallastro, bruno o grigiastro, con presenza di microorganismi e minerali vulcanici procedendo verso l'interno.



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

4 INDAGINI GEOGNOSTICHE

La caratterizzazione del sito è stata effettuata utilizzando i risultati delle indagini geognostiche eseguite all'uopo sotto la supervisione dello scrivente, e sono consistite nella perforazione di tre sondaggi a carotaggio continuo di lunghezza 30 m ciascuno, con prelievo di 24 SPT, e tre verticali penetrometriche pesanti DPSH spinte fino al rifiuto, avvenuto a -16.0 m dal piano di campagna, oltre all'esecuzione di tre stendimenti sismici a rifrazione "MASW". L'indagine è da intendersi funzionale alla stesura del progetto definitivo, e necessiterà di una integrazione in fase di progettazione esecutiva; il fascicolo con le singole prove effettuate in situ e con il dettaglio delle prove di laboratorio eseguite dalla TecnoGeo, che si intende essere parte integrante della presente relazione, è allegato alla relazione geologica della Dott. Perillo.

Per confronto, sono stati analizzati anche i risultati di una campagna di indagini effettuata nel 1987 (denominata nel seguito "Indagini 1987" a firma del Geologo Sebastiano Caruso, nell'ambito della prima fase di edificazione del porto turistico, consistenti in tre sondaggi a carotaggio continuo della lunghezza di 12 m ciascuno con esecuzione di prove SPT in foro.

L'ubicazione delle verticali indagate è riportata nella figura alla pagina seguente.



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

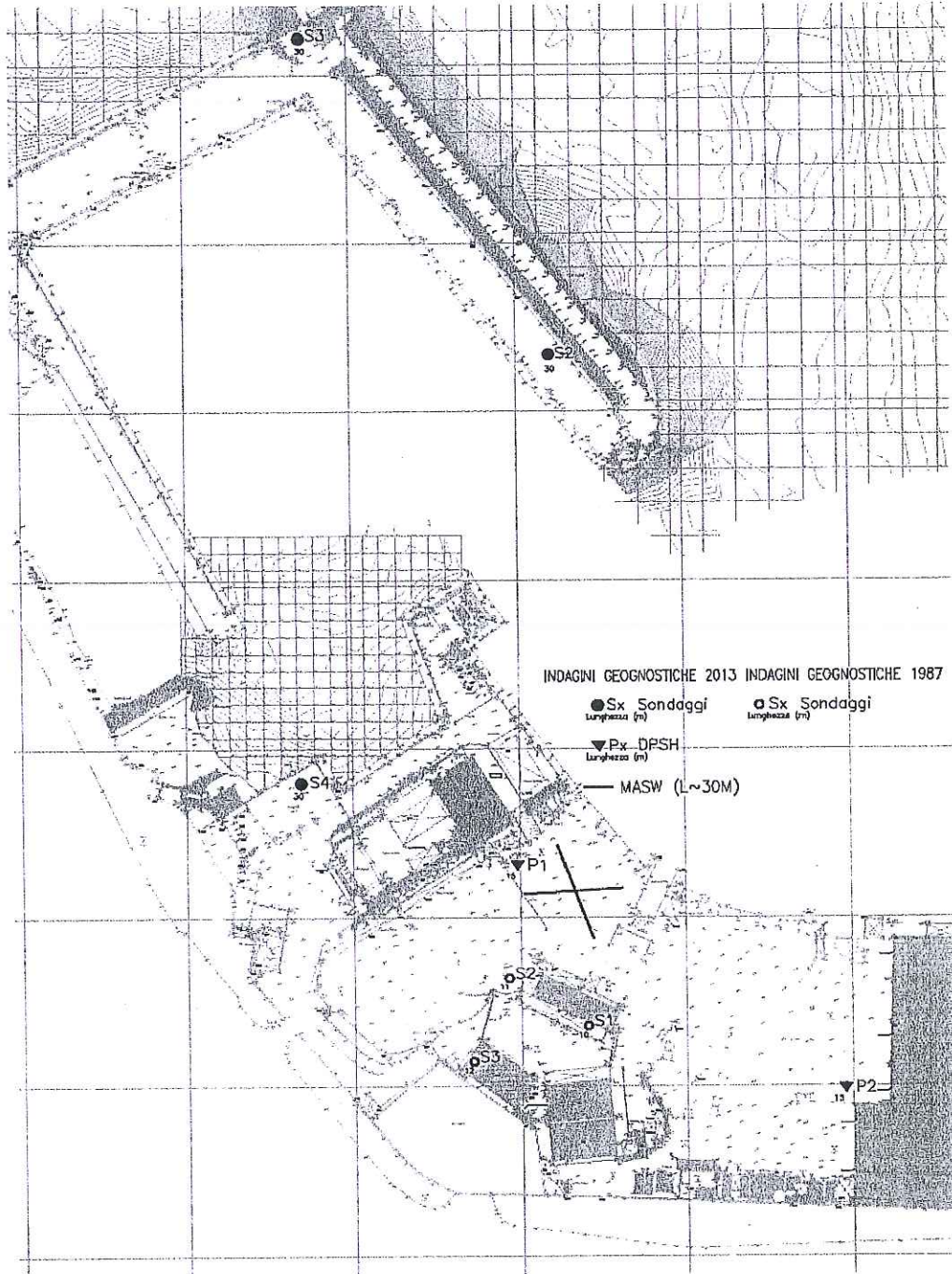


Figura 2: Planimetria generale con ubicazione delle indagini.



5 STRATIGRAFIA

5.1 Esame delle indagini eseguite

L'elaborazione della campagna di indagini ha consentito la definizione delle caratteristiche geotecniche del sottosuolo in esame. In primo luogo si è potuta osservare una certa variabilità delle quote dei vari orizzonti di terreno in funzione della distanza dalla linea di costa: i sondaggi "a terra" (S4, P1 e P2 dell'"indagine 2013", S1 S2 ed S3 dell'"indagine 1987") mostrano una stratificazione che tende ad "immergersi" procedendo verso il largo (sondaggi S3 ed S2 dell'"indagine 2013"), arricchendosi di frazione fine al tetto di ciascun intervallo di sedimentazione. Tutte le verticali indagate, inoltre, ricadono all'interno di aree intensamente antropizzate, (il piazzale esistente in prossimità dell'ingresso e la banchina) circostanza questa evidenziata dalla presenza di significativi volumi di riporto, pari a circa 3.0 m nel sondaggio S4, e 6.5 m nei sondaggi S2 ed S3, dove il riporto costituisce il corpo della barriera artificiale. In quest'ultimo caso c'è da puntualizzare che i sondaggi S2 ed S3 solo per comodità esecutiva sono stati perforati attraverso la banchina esistente, mentre in corrispondenza della nuova estensione del molo non vi è intervento antropico.

Al di là degli interventi antropici, si rinvengono due "serie" di depositi, uno costituito da sabbie limose nerastre, e al di sotto di questo uno costituito da sabbie limose ocre.

Le sabbie limose nerastre nella zona a terra mostrano un certo grado di disomogeneità, in particolar modo con riferimento alle caratteristiche di consistenza: se nel sondaggio S4 hanno mostrato buone caratteristiche di resistenza all'atto della esecuzione delle prove penetrometriche statiche, nelle restanti verticali indagate risentono di un minor



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

grado di compattezza. Complessivamente, si rinvencono sino alla profondità di 11.0 - 13.0 m dal piano di campagna. Procedendo verso il largo, lo stesso materiale si rinviene a partire dai 14 e fino ai 19 - 20 m (con riferimento alla stessa quota dei sondaggi a terra), mentre tra i 14 m ed il livello del fondale la matrice limo argillosa prevale nettamente rispetto alla frazione sabbiosa. tanto da potersi identificare come uno strato dalle caratteristiche meccaniche differenti.

Analogamente può dirsi delle sabbie limose color ocra, rinvenute a profondità indagate solo nell'"indagine 2013", che nella zona a terra mostrano buona consistenza ed una netta prevalenza della frazione sabbiosa dai 13.0 fino ai 20.0 m, mentre in corrispondenza della banchina esistente si rinvencono con analoghe caratteristiche tra i 22.0 ed i 25.0 m, e sono sormontate da un banco a prevalenza limo argillosa di analoga potenza. Infine, al di sotto delle sabbie limose ocra, sia a terra che a mare si rinviene un banco di argilla limosa arancio di buona consistenza, con occasionali intercalazioni litoidi.

Riepilogando, i terreni rinvenuti nel sottosuolo possono essere ricondotti ai seguenti orizzonti stratigrafici:

- **Orizzonte A** - Riporto antropico;
- **Orizzonte B** - Limi nerastri, a luoghi sabbiosi;
- **Orizzonte C** - Sabbie limose nerastre;
- **Orizzonte D** - Argille limose color ocra
- **Orizzonte E** - Sabbie limose color ocra
- **Orizzonte F** - Argilla limosa sabbiosa

In base alle caratteristiche fisiche e meccaniche, tuttavia, la schematizzazione è stata razionalizzata accorpendo gli orizzonti stratigrafici con caratteristiche assimilabili, ed



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

in particolare gli orizzonti D ed F. L'orizzonte C è stato invece definito unità B1 per la sua contiguità con l'unità B, dalla quale si differenzia essenzialmente per il minor grado di addensamento e i detriti di origine vegetale.

Ne consegue la seguente schematizzazione:

- **Unità stratigrafica A** - Riporto antropico/trovanti lapidei
- **Unità stratigrafica B** - Limo sabbioso
- **Unità stratigrafica B1** - Limo sabbioso con residui organici
- **Unità stratigrafica C** - Sabbia
- **Unità stratigrafica D** - Limo

Alla luce di tale schematizzazione, si riporta nelle successive tabelle l'interpretazione delle indagini effettuate.

Tabella 1: Indagini 2013 - Interpretazione delle stratigrafie dei sondaggi.

	Unità stratigrafica									
	A		B1		B		C		D	
	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m
S2	0.0	9.0	9.0	13.0	13.0	20.0	20.0	24.0	24.0	FS
S3	0.0	6.0	6.0	14.0	14.0	20.0	20.0	24.0	24.0	FS
S4	0.0	4.0	4.0	7.0	7.0	13.0	13.0	18.0	18.0	FS



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Tabella 2: Indagini 2013 - Interpretazione dei profili penetrometrici.

	Unità stratigrafica									
	A		B1		B		C		D	
	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m
P1	0.0	5.0	5.0	7.0	7.0	9.0	9.0	FP	--	--
P2	0.0	5.5	5.5	7.0	7.0	10.5	10.5	FP	--	--

Tabella 3: Indagini 1987 - Interpretazione delle stratigrafie dei sondaggi.

	Unità stratigrafica									
	A		B1		B		C		D	
	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m	Da m	a m
S1	0.0	2.0	2.0	6.0	6.0	8.0	8.0	FS	--	--
S2	0.0	5.0	5.0	7.0	7.0	9.0	9.0	FS	--	--
S3	0.0	2.0	2.0	5.0	5.0	8.5	8.5	FS	--	--

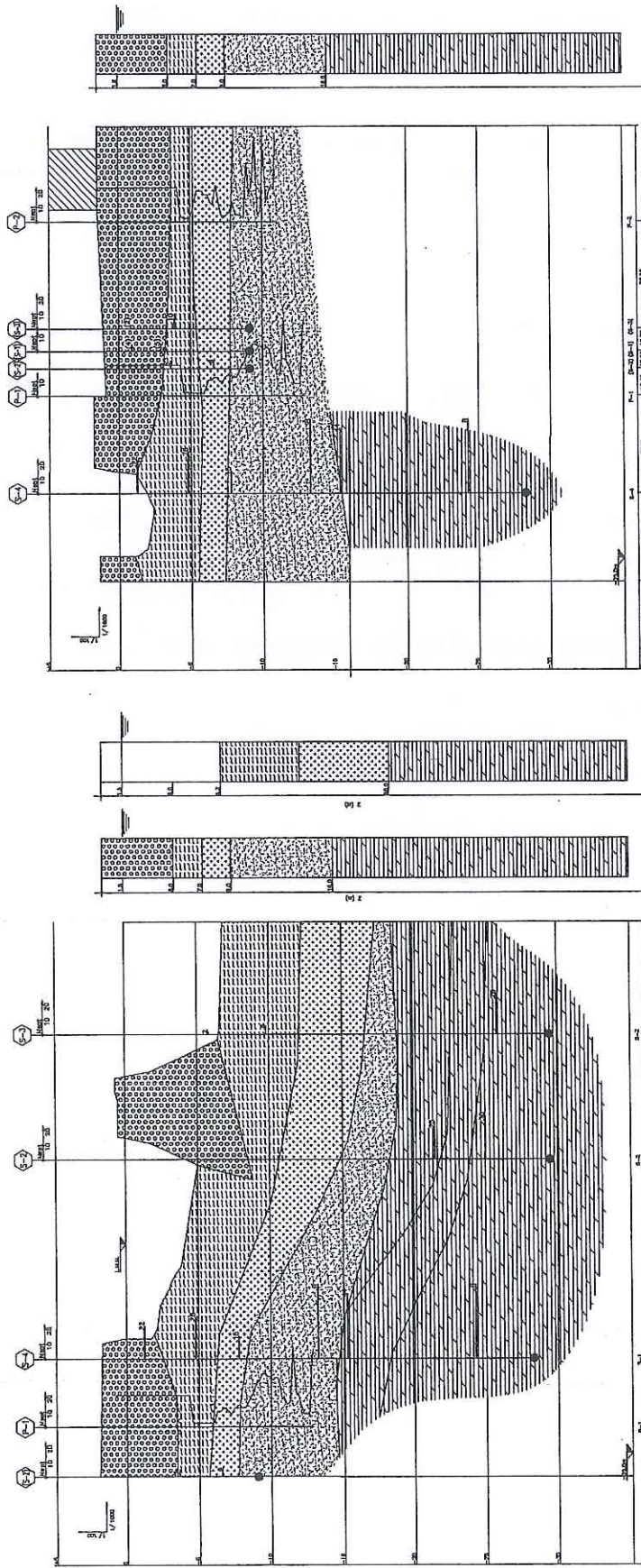
L'area è prospiciente il mare, pertanto il livello del fluido di porosità è regolato dalla quota del livello medio mare. In conseguenza di ciò, può assumersi che il sottosuolo sia completamente saturo.

Al di là della caratterizzazione dei materiali, non sarà possibile adoperare un'unica stratigrafia rappresentativa dell'intero sito, ma si procederà identificando una stratigrafia valida per le aree a terra ed una valida per quelle a mare.

Nelle figure alla pagina seguente sono state riportate le sezioni stratigrafiche tipo.



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIA GIOIA"



SEZIONE STRATIGRAFICA "A"				SEZIONE STRATIGRAFICA "B"			
Distanza portella	0-1	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6
Distanza progetto	0	34.35	68.70	103.05	137.40	171.75	206.10
Quota terreno	0	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7

LEGENDA:

- SEZIONE STRATIGRAFICA "A":
 - UNITA' A - BENTONITALE
 - UNITA' B - CEMENTO
 - UNITA' C - SABBIA
- SEZIONE STRATIGRAFICA "B":
 - UNITA' A - BENTONITALE
 - UNITA' B - CEMENTO
 - UNITA' C - SABBIA



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

6 CARATTERIZZAZIONE DELLE UNITA' STRATIGRAFICHE

6.1 Analisi dei dati

Sono stati prelevati complessivamente quattro campioni indisturbati, sui quali sono state eseguite la determinazione delle caratteristiche fisiche, le curve granulometriche, e la determinazione delle caratteristiche di resistenza a rottura e deformabilità. Inoltre, sono stati esaminati i dati delle prove eseguite in situ, consistenti in prove SPT effettuate nei fori di sondaggio e penetrometri pesanti DSPTH. Infine, è stata effettuata la determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio attraverso metodi indiretti, ovvero MASW ed analisi dei microtremori.

Nella tabella seguente è stato riportato il dettaglio delle prove eseguite in laboratorio sui campioni indisturbati.

Sondaggio	Campione	Profondità	Unità	Classe	Fisiche ¹	Analisi granulometrica ²	Att. ³	TD ⁴	Ed. ⁵
S2	1	22.0	D	Q5	X	X	X	X	X
S3	1	8.5	B	Q5	X	X	--	X	X
S4	1	4.0	A	Q5	X	X	--	X	X
S4	2	9.0	C	Q5	X	X	--	X	

¹Determinazione di γ_g (UNI10013), γ (CNR62), w (UNI10008), e , n , S_r , V' , V_{sat}

²Definizione delle curve granulometriche.

³Limiti di Atterberg.

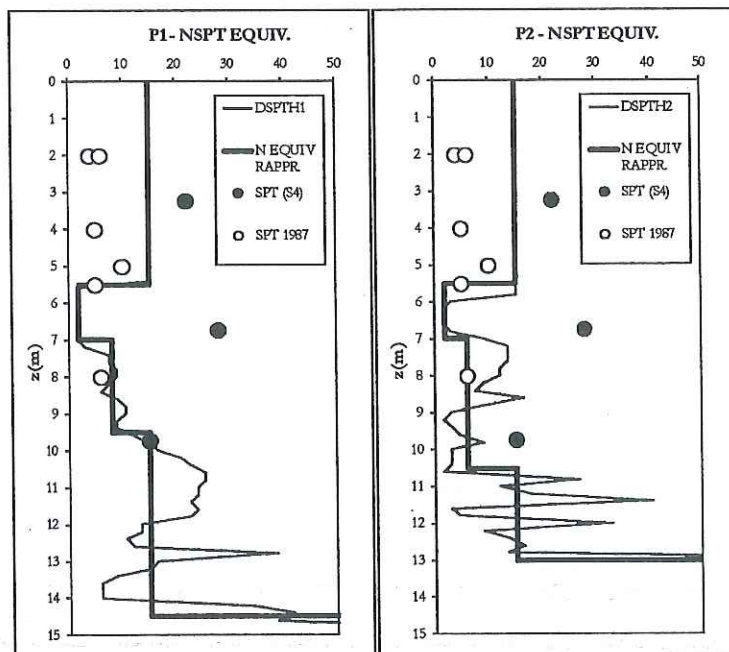
⁴Prova di taglio diretto consolidate drenata (TD).

⁵Prova edometrica a contenuto d'acqua naturale.

6.2 Prove DSPTH

La rappresentazione delle prove penetrometriche è stata fatta determinando il numero di colpi rappresentativo SPT equivalente alle battute effettuate con la prova penetrometrica eseguite. L'equivalenza è stata effettuata su base energetica, ipotizzando che il numero di colpi sia direttamente proporzionale alla massa battente e all'altezza di caduta della stessa, ed inversamente proporzionale al passo di lettura ed alla superficie della punta.

L'attrezzatura utilizzata è composta da una batteria di aste lunghe 1 metro con diametro di 32 mm, alla cui estremità inferiore è collegata una punta conica avente angolo di apertura di 90°, e da un maglio battente di 63.5 kg che viene fatto cadere da un'altezza di 75 cm, con passo di letture ogni 20 cm.





PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Fissati i parametri della prova di confronto, ovvero la tradizionale prova penetrometrica dinamica, utilizzando i valori caratteristici della prova eseguita si ottiene:

$$\alpha = \frac{63.5 \times 0.75}{0.002 \times 0.20} \times \frac{0.002 \times 0.30}{63.5 \times 0.75} = 1.5$$

Sono stati rappresentati nello stesso grafico i risultati della prova in termini di colpi equivalenti SPT, le prove SPT in foro effettuate nella campagna di indagini del 1987 e quelle effettuate nel sondaggio S4 nel 2013, ed infine una schematizzazione con valori rappresentativi.

I profili ricavati sono in buon accordo con la stratigrafia desunta dai sondaggi; si nota una sottostima nei primi metri dei valori di N_{SPT} nelle determinazioni antiche, mentre i dati sono in buon accordo con l'evidenza sperimentale alle profondità maggiori; questo non sorprende dal momento che l'area è stata oggetto di successiva antropizzazione, con realizzazione di colmate e bonifiche per sostituzione proprio nei primi metri. Viceversa, le determinazioni dirette più recenti forniscono valori più alti, probabilmente in ragione di un maggior grado di compattazione nell'area del sondaggio S4. C'è da sottolineare che i profili penetrometrici consentono l'identificazione di un livello dello spessore di circa 1.5 m caratterizzato da un valore molto basso del numero di colpi; la lettura delle colonne stratigrafiche indica che in quell'intervallo di profondità è rilevabile una presenza di depositi di alghe e frustoli vegetali. La definizione dello strato, di scarso interesse tecnico in termini di valutazione delle caratteristiche resistenti del terreno, risulta importante per una corretta lettura del comportamento del suolo nei riguardi della liquefazione. Atteso che il materiale è di fatto lo stesso dell'unità "B" lo si è definito come unità "B1".



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Sono stati impiegati come valori rappresentativi del numero di colpi in ciascuno strato i seguenti:

- Unità A 15 colpi;
- Unità B1 2 colpi;
- Unità B 8 colpi;
- Unità C 15 colpi;

I sondaggi S2 ed S3, eseguiti attraverso la banchina esistente, intercettano i suoli definiti "Unità B" e "Unità D"; l'interpretazione dei risultati tiene conto della forte immersione degli strati tra la parte a terra e quella a mare; le due determinazioni di N_{SPT} effettuate sull'unità B (2 colpi e 6 colpi nel sondaggio S3) sono in ottimo accordo con quanto sopra. Il rifiuto fatto registrare nel sondaggio S4 dalla determinazione diretta effettuata a 13 m è da attribuire alla occasionale presenza di trovanti calcarei.

Ancora, le determinazioni dirette di N_{SPT} consentono di assegnare un valore rappresentativo del numero di colpi anche alla unità D; le determinazioni coprono un intervallo di valori piuttosto ampio, che può spiegarsi con l'eterogeneità dell'unità stratigrafica, vuoi per effetto della presenza di piccoli trovanti calcarei, vuoi per la maggior frazione sabbiosa rinvenuta nella parte sommitale ma ritenuta poco significativa dal punto di vista tecnico. In questa chiave vanno letti sia il rifiuto alla prima infissione riscontrato in S4 alla profondità di 25 metri, sia i 44 colpi sempre in S4 alla profondità di 17 metri. La lettura dei valori in S2 ed S3 suggerisce di adoperare per l'unità D il valore rappresentativo di 25 colpi.

Nella tabella seguente è riportato il riepilogo delle prove in foro, con associata l'unità stratigrafica corrispondente.



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Indagine	Sondaggio	Z	N1	N2	N3	Ntot	Unità
2013	S2	22.7	21	12	13	25	D
		26.2	10	14	16	30	D
	S3	6.6	1	1	1	2	B1
		10.5	2	3	3	6	B
		26.6	11	12	16	28	D
	S4	3.2	11	14	8	22	D
		6.7	8	11	17	28	D
		9.7	6	8	7	15	C
		13.2	24	38	62	R(N2+N3)	C
		17.2	5	13	31	44	D
		25.2	50			R(N1)	D
	1987	(S1)	1.75	2	2	2	4
5			2	3	2	5	B
(S2)		5	2	3	2	5	B
		8	3	3	3	6	B
(S3)		3	2	3	3	6	(B)
		6	3	5	5	10	B

6.3 Unità stratigrafica A – riporto antropico / trovanti lapidei

L'unità stratigrafica "A" è stata rinvenuta esclusivamente sulla parte a terra dell'intervento, in corrispondenza delle installazioni portuali preesistenti. La più che ventennale urbanizzazione del sito ha determinato la presenza di uno strato di circa 5.0 m di spessore dotato di buone caratteristiche meccaniche, difficilmente campionabile per la sua granulometria sabbio-ghiaiosa. Si è riusciti a prelevare un campione indisturbato verso la base dello strato, in ragione di una granulometria più regolare con più abbondante frazione fine, nel termine di passaggio con l'unità stratigrafica inferiore, sul quale sono state effettuate la determinazione delle caratteristiche fisiche, l'analisi granulometrica, la determinazione diretta delle caratteristiche meccaniche (prova di taglio diretto consolidato drenato) e di deformabilità (prova edometrica). I risultati delle prove in laboratorio sono stati confrontati con le elaborazioni delle prove in situ.

6.3.1 Caratteristiche fisiche

Dai risultati della sperimentazione deriva che il terreno è classificabile come "sabbia debolmente ghiaiosa". Non è inessenziale sottolineare come il campione prelevato provenga dalla frazione più fine, mentre la parte più superficiale, non campionabile, presenta una frazione grossolana più abbondante.

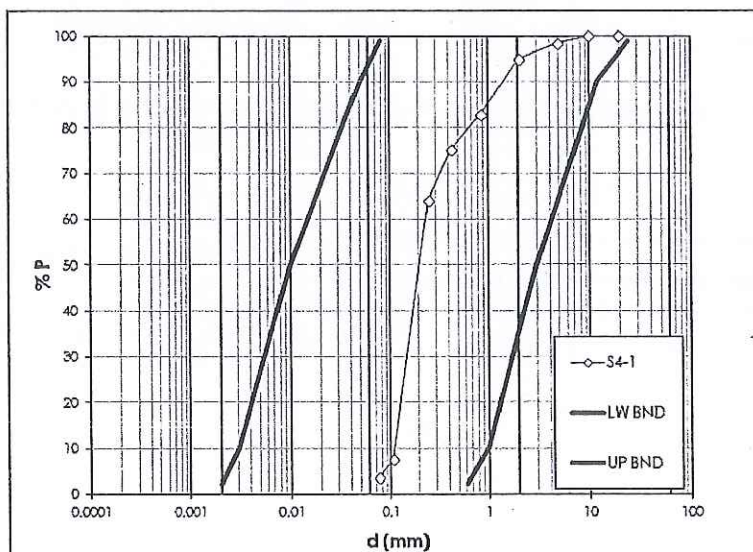


Figura 3: : Unità stratigrafica A - curve granulometriche.

Il campione è risultato saturo, con peso di unità di volume uguale a 18.5 kN/mc, peso specifico pari a 25.7 kN/mc e peso secco pari a 13.4 kN/mc, contenuto d'acqua naturale compreso tra 37% e 39%, porosità uguale a 0.92 e indice di porosità di poco inferiore al 48%. Vista l'assenza di frazione fine nel campione esaminato, non sono risultati determinabili i limiti di Atterberg.

6.3.2 Caratteristiche meccaniche - rottura

Per la determinazione della resistenza a rottura si dispone del risultato di una prova di taglio diretto consolidato drenato a contenuto d'acqua naturale, oltre che delle correlazioni con le prove in situ.

Il risultato della prova di taglio è stato diagrammato nel piano di Mohr e Coulomb, in cui si riportano in un piano σ' , τ i punti corrispondenti alle condizioni di rottura. L'intercetta della retta interpolante con l'asse delle τ rappresenta la coesione, mentre la sua pendenza l'angolo di attrito drenato.

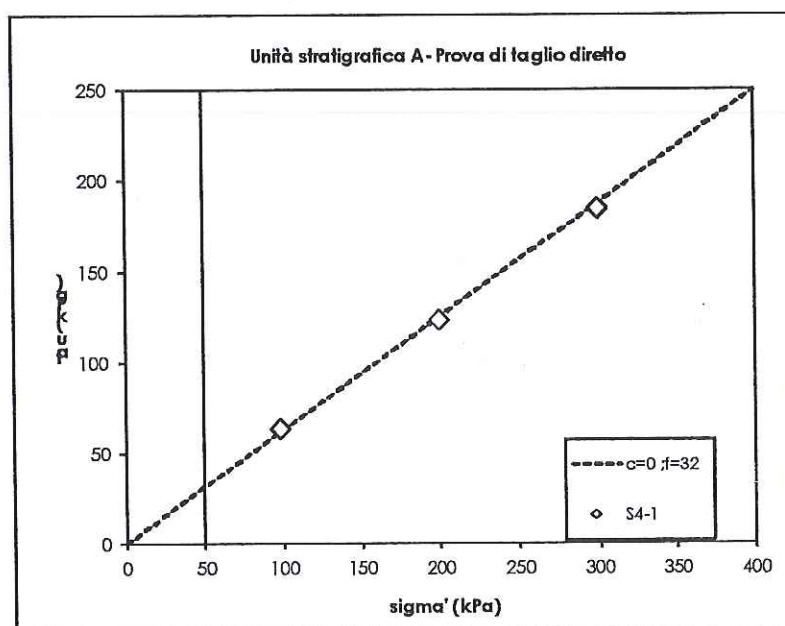


Figura 4: Unità stratigrafica A - prova di taglio diretto.

I punti sperimentali sono ben interpolati da una retta a coesione nulla e pendenza 32° .

Dalla elaborazione dei profili penetrometrici pesanti e dalla determinazione diretta del numero di colpi SPT nei fori di sondaggio si è pervenuti alla determinazione del valore



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

determinazioni delle caratteristiche fisiche. Entrambi i valori mettono la prova più in relazione con l'unità stratigrafica "B" piuttosto che con la presente, come d'altra parte è possibile considerato che la profondità di prelievo posiziona il campione proprio nella transizione tra le due unità.

Pertanto, la determinazione delle caratteristiche deformative è stata effettuata impiegando i risultati delle prove in situ, attraverso correlazioni di consolidata pratica sul territorio nazionale.

Secondo Webb il modulo elastico può essere correlato al numero di colpi SPT mediante la relazione

$$E = s1 \times NSPT + s2$$

Con $s1 = 0.478$ e $s2 = 7.17$ (sabbia satura), si ottiene:

$$E_{ed} = (0.478 \times 15 + 7.17) = 14.34 \text{ MPa} = 14276 \text{ kN/mq.}$$

Nel caso di specie si è inteso adoperare il valore caratteristico di 14 MPa.

6.4 Unità stratigrafica B/B1 – Limo sabbioso

L'unità stratigrafica "B" è stata rinvenuta in tutti i sondaggi effettuati, se pur caratterizzata da frazioni limose più o meno significative e con un diverso grado di consistenza tra i sondaggi effettuati attraverso le banchine (S2 ed S3) e quello effettuato a terra (S4). È stato prelevato un campione riconducibile alla presente unità stratigrafica (S3-1), sul quali sono state effettuate la determinazione delle caratteristiche fisiche, l'analisi granulometrica, la determinazione diretta delle caratteristiche meccaniche (prove di taglio diretto consolidato drenato) e di deformabilità (prove edometriche). Come già anticipato a proposito dell'esame delle prove penetrometriche, la parte superficiale dello

strato presenta caratteristiche meccaniche peggiori per effetto della presenza di elementi organici.

6.4.1 Caratteristiche fisiche

Dai risultati della sperimentazione deriva che il terreno è classificabile come "sabbia". L'osservazione delle carote estratte dal foro di sondaggio, tuttavia, suggerisce la presenza di una matrice limosa non insignificante ad una scala maggiore di quella del campione.

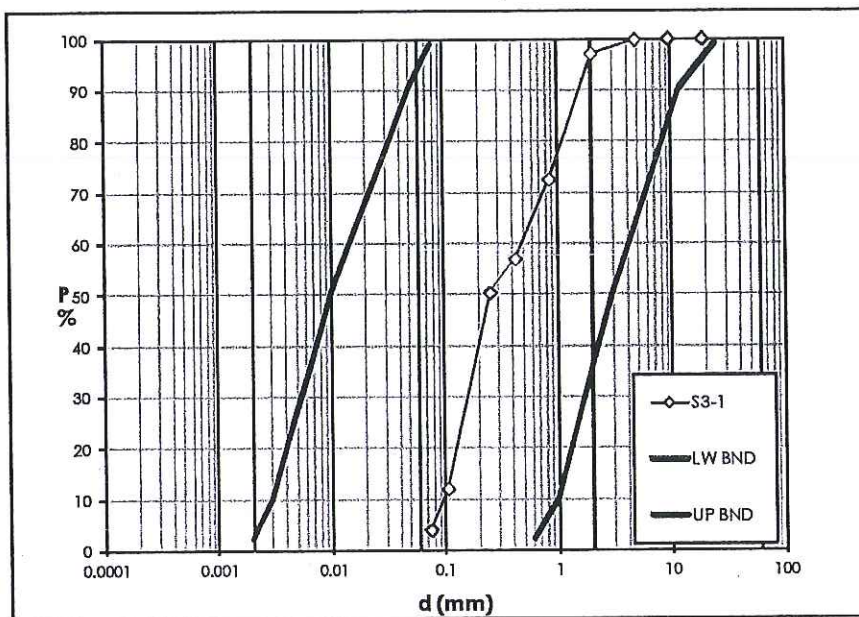


Figura 6: Unità stratigrafica B/B1 - curve granulometriche.

Il campione è risultato saturo, con peso di unità di volume uguale a 16.3 kN/mc (in linea con la determinazione del peso di unità di volume del campione S4-1 sottoposto a prova edometrica, 16.9 kN/mc), peso specifico pari a 24.0 kN/mc e peso secco pari a 10.8 kN/mc, contenuto d'acqua naturale compreso tra 52% e 54%, porosità compresa tra 1.23

rappresentativo di 7 colpi. Come nel caso precedente, per la determinazione della resistenza a rottura si è adoperata la correlazione di De Mello (1971) tra angolo di attrito, numero di colpi SPT e tensione geostatica. che fornisce, come mostrato nella figura seguente, valori nel campo dei 30 gradi, in buon accordo con la prova di laboratorio. Per il calcolo della tensione geostatica si è assunto che il livello del fluido di porosità sia coincidente con il livello del mare, e che il peso del rilevato attraverso il quale sono stati perforati i sondaggi S2 ed S3 sia di 20.0 kN/mc.

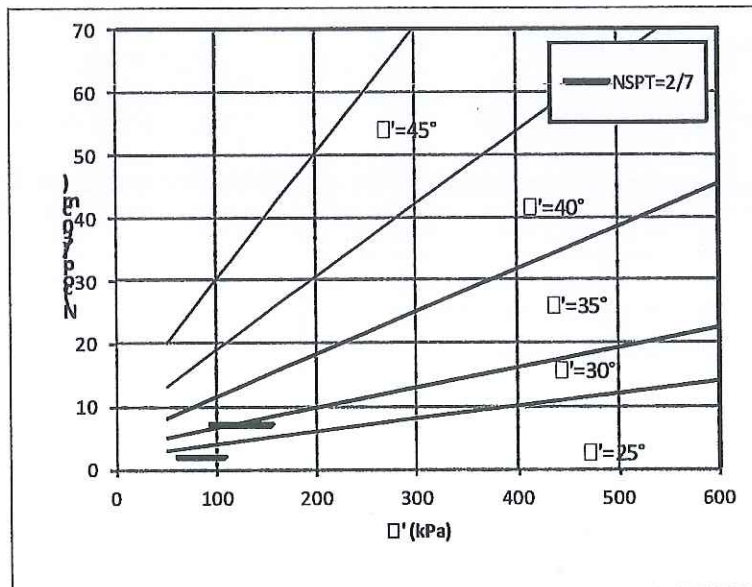


Figura 8: Unità stratigrafica B - correlazione di De Mello tra NSPT e angolo di attrito.

Si ritiene di adoperare come valore caratteristico dell'angolo di attrito 28° , con coesione cautelativamente nulla.

6.4.3 Caratteristiche meccaniche - deformabilità

Sul campione S3-1 è stata effettuata una prova edometrica a contenuto d'acqua naturale; anche in questo caso, tuttavia, risultano opportune alcune osservazioni.

Il campione è stato prelevato in un campo di profondità in cui si è rinvenuta presenza di materiale organico (residui di alghe e frustoli vegetali), definito come unità B1. La prova penetrometrica realizzata poco più in alto ha fatto registrare complessivamente 2 colpi, a testimonianza di una zona caratterizzata da modestissime proprietà meccaniche, anche inferiori a quelle dell'unità stratigrafica "B" nel suo complesso. I risultati di questa prova sono sintetizzati nella figura seguente. Nella stessa figura sono state tracciate la retta di normal consolidazione ed il punto rappresentativo dello stato tensionale alla profondità di prelievo del campione, pari a:

$$\sigma'_v = 6.0 \times 20.0 + 2.0 \times 16.3 - 6.5 \times 10.0 = 87.6 \text{ kN/mq}$$

Il carico di preconsolidazione è compreso tra 34 e 130 kN/mq, pertanto il terreno è normalmente consolidato.

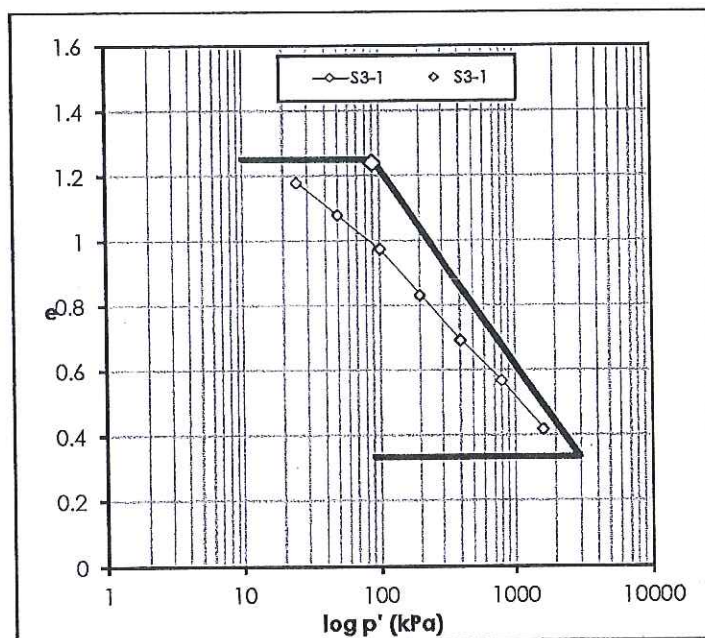


Figura 9: Unità stratigrafica B1 - prova edometrica

La retta vergine è caratterizzata dall'equazione:

$$e = 1.24 - 0.60 \times \log\left(\frac{\sigma'_v}{90}\right)$$

E' possibile a questo punto risalire ad un valore rappresentativo del modulo edometrico medio; considerato che il materiale con queste caratteristiche si rinviene fino a profondità di 8.0 m dal fondale, risulta:

$$E_{ed} = 2.302 \times \left(\frac{1+1.24}{0.60} - \log \frac{123.6}{87.6} \right) \times 123.6 = 661 \text{ kN/mq}$$

In effetti, il valore è tipico di materiali con un contenuto organico non insignificante. Per quanto sopra, appare troppo cautelativo caratterizzare l'intero banco con tale caratteristica di deformabilità, ritenendosi più attendibili, almeno per la sezione stratigrafica a terra e per la parte più profonda della sezione stratigrafica a mare, le determinazioni della prova S4-1, che di seguito si riporta.

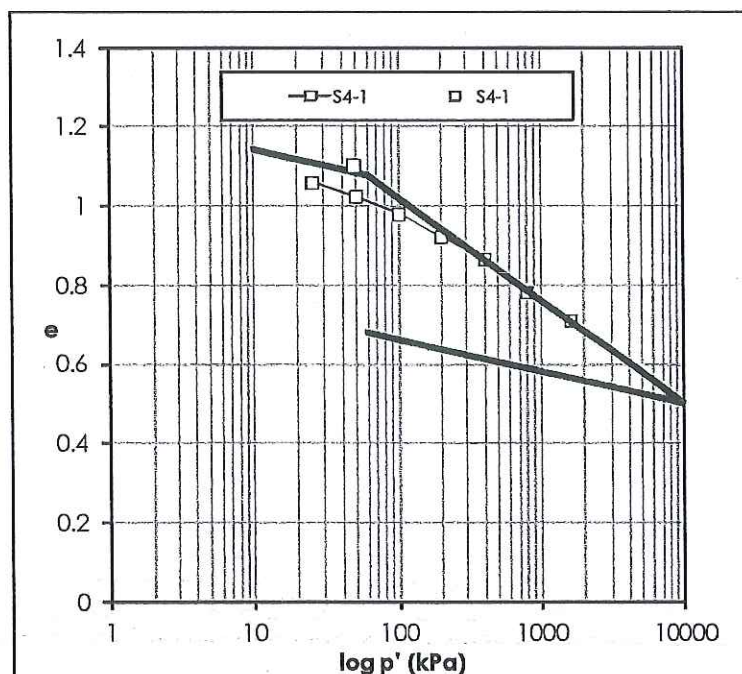


Figura 10: Unità stratigrafica B - prova edometrica



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Il punto rappresentativo dello stato tensionale alla profondità di prelievo del campione è pari a:

$$\sigma'_v = 4.0 \times 18.5 - 2.5 \times 10.0 = 49.0 \text{ kN/mq}$$

Il carico di preconsolidazione è pari a 50 kN/mq, pertanto il terreno è normalmente consolidato.

La retta vergine è caratterizzata dall'equazione:

$$e = 1.08 - 0.26 \times \log\left(\frac{\sigma'_v}{60}\right)$$

la retta di ricarico ha una inclinazione C_s pari a 0.08

Il valore rappresentativo del modulo edometrico può ricavarsi da quanto segue:

$$E_{ed} = 2.302 \times \left(\frac{1+1.10}{0.26} - \log \frac{115}{90} \right) \times 115 = 1799 \text{ kN/mq}$$

Impiegando i risultati delle prove in situ ed utilizzando ancora la correlazione di Webb risulta

$$E = s_1 \times \text{NSPT} + s_2$$

Con $s_1 = 0.316$ e $s_2 = 1.58$ (sabbia argillosa), si ottiene:

$$E_{ed} = (0.316 \times 4 + 1.58) = 2.84 \text{ MPa} = 2840 \text{ kN/mq.}$$

Nel caso di specie si è inteso adoperare il valore caratteristico di 20 MPa (2000 kN/mq).

Riassumendo, il valore 2000 kN/mq è ritenuto rappresentativo delle caratteristiche di deformabilità del suolo B, mentre il valore 661 kN/mq è ritenuto rappresentativo delle caratteristiche di deformabilità del suolo B1

6.5 Unità stratigrafica C – Sabbia

L'unità stratigrafica "C" è stata rinvenuta in tutti i sondaggi effettuati. E' stato prelevato un campione ad essa riconducibile (S4-2), sul quale sono state effettuate la determinazione delle caratteristiche fisiche, l'analisi granulometrica e la determinazione diretta delle caratteristiche meccaniche (prove di taglio diretto consolidato drenato).

6.5.1 Caratteristiche fisiche

Dai risultati della sperimentazione deriva che il terreno è classificabile come "sabbia".

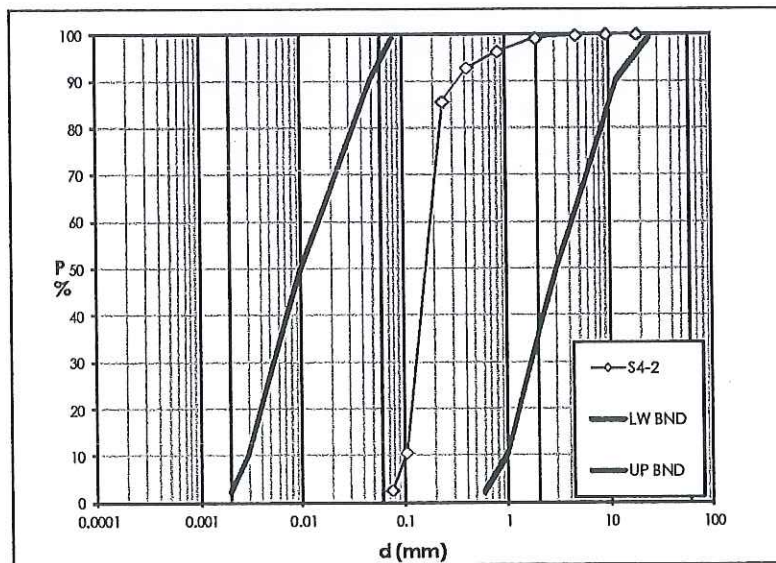


Figura 11: Unità stratigrafica C - curve granulometriche.

Il campione è risultato saturo, con peso di unità di volume uguale a 18.0 kN/mc, peso specifico pari a 24.8 kN/mc e peso secco pari a 14.2 kN/mc, contenuto d'acqua naturale compreso tra 26% e 28%, porosità uguale a 0.75 e indice di porosità di 42.6%. Anche in questo caso, il campione è risultato campionabile in virtù di una modesta matrice

limosa apprezzabile in fase di perforazione, ma in ogni caso non sono risultati determinabili i limiti di Atterberg.

6.5.2 Caratteristiche meccaniche - rottura

Per la determinazione della resistenza a rottura si dispone del risultato di una prova di taglio diretto consolidato drenato a contenuto d'acqua naturale, oltre che delle correlazioni con le prove in situ.

Il risultato della prova di taglio è stato diagrammato nel piano di Mohr e Coulomb.

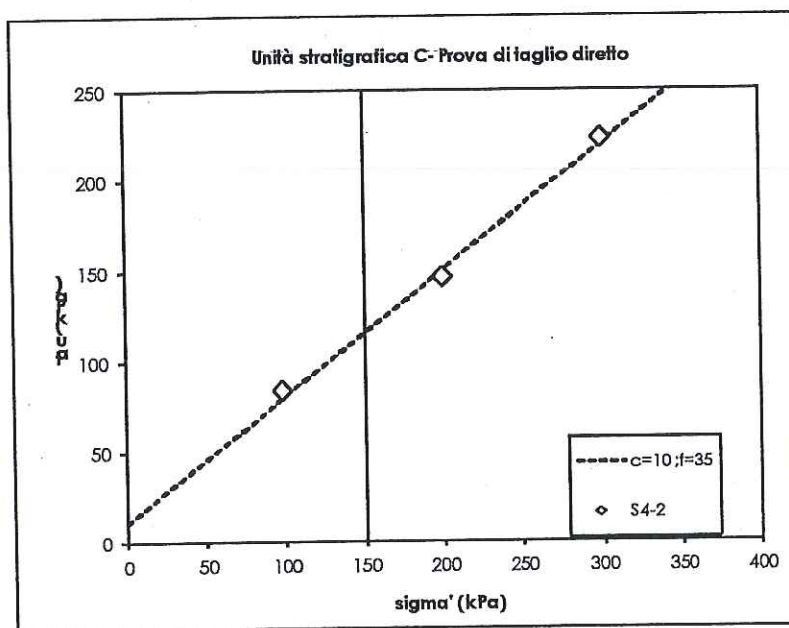


Figura 12: Unità stratigrafica C - prova di taglio diretto.

I punti sperimentali sono ben interpolati da una retta con coesione uguale a 10 kPa (a testimonianza del blando effetto coesivo che ha consentito il campionamento) e pendenza 35° .

prossimo all'unità, e nella carta di Casagrande si colloca nell'ambito dei limi inorganici di media plasticità

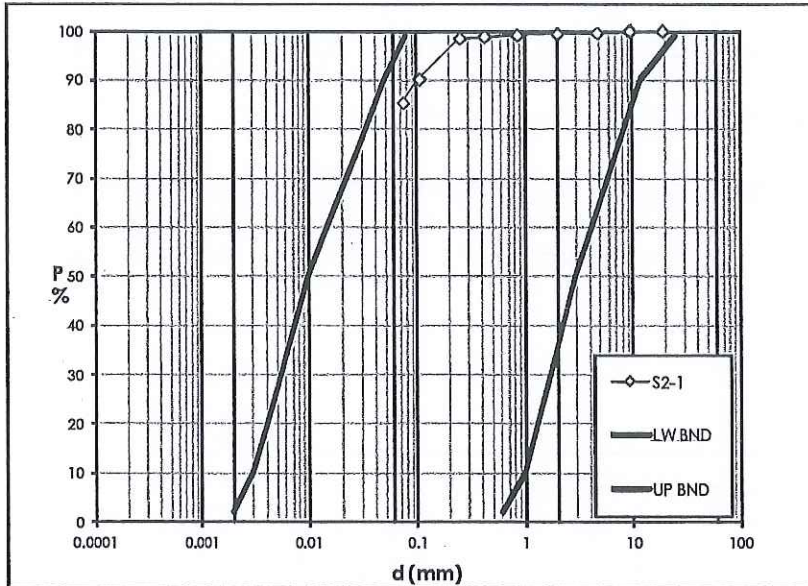


Figura 14: Unità stratigrafica D - curve granulometriche.

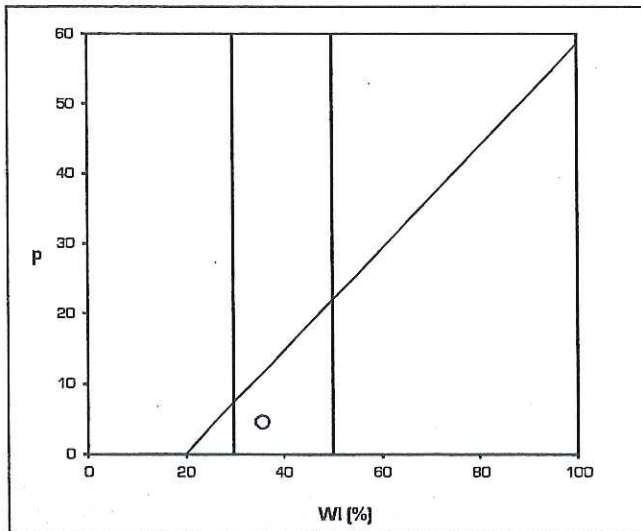


Figura 15: Unità stratigrafica D - Carta di plasticità

6.6.2 Caratteristiche meccaniche - rottura

Per la determinazione della resistenza a rottura si dispone del risultato di una prova di taglio diretto consolidato drenato a contenuto d'acqua naturale, oltre che delle correlazioni con le prove in situ.

Il risultato della prova di taglio è stato diagrammato nel piano di Mohr e Coulomb.

I punti sperimentali sono ben interpolati da una retta con coesione uguale a 13 kPa e pendenza 28°.

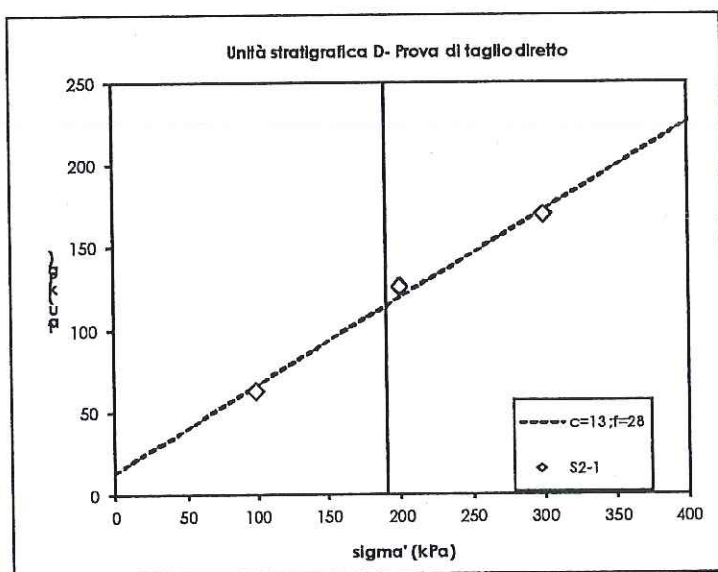


Figura 16: Unità stratigrafica D - prova di taglio diretto.

Dalla elaborazione dei profili penetrometrici pesanti e dalla determinazione diretta del numero di colpi SPT nei fori di sondaggio si è pervenuti alla determinazione del valore rappresentativo di 25 colpi. In questo caso, considerata la granulometria del materiale, appare più appropriata l'interpretazione delle prove penetrometriche in termini di parametri

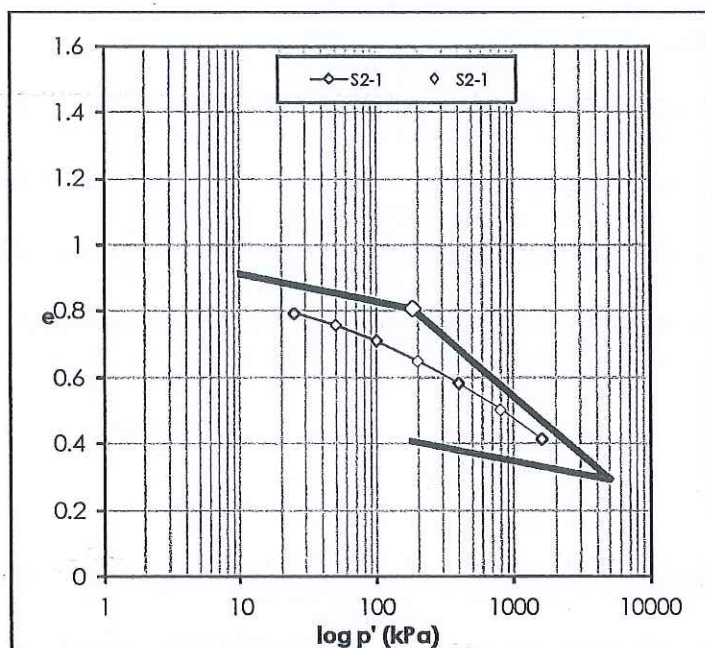


Figura 17: Unità stratigrafica D - prova edometrica

La retta vergine è caratterizzata dall'equazione:

$$e = 0.81 - 0.36 \times \log\left(\frac{\sigma'_v}{180}\right)$$

E' possibile a questo punto risalire ad un valore rappresentativo del modulo edometrico medio; considerato che il materiale con queste caratteristiche si rinviene fino a profondità di 8.0 m dal fondale, risulta:

$$E_{ed} = 2.302 \times \left(\frac{1+0.81}{0.36} - \log \frac{300}{180} \right) \times 300 = 3318 \text{ kN/mq}$$

Secondo Webb il modulo elastico può essere correlato al numero di colpi SPT mediante la relazione

$$E = s_1 \times \text{NSPT} + s_2$$

Con $s_1 = 0.316$ e $s_2 = 1.58$ (sabbia argillosa), si ottiene:



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

$$E_{ed} = (0.316 \times 25 + 1.58) = 9.48 \text{ MPa} = 9480 \text{ kN/mq.}$$

Considerato che il campione è risultato piuttosto eterogeneo, con presenza di occasionali inclusi grossolani che possono aver influenzato il campionamento, e che comunque le correlazioni col sito, se pur forniscono una stima indiretta del dato, sono significativamente più alte, si è ritenuto di adoperare un valore caratteristico di 4000 kN/mq.

6.7 Prove sismiche

Nell'ambito della campagna di indagini 2013 sono state eseguiti due stendimenti sismici con la tecnica dei microtremori con sorgente attiva (MASW), quindi un ulteriore stendimento lungo la stessa linea con sorgente passiva (Remi). I dettagli tecnici delle prove sono stati riportati nell'allegato delle indagini.

I profili di velocità delle onde di taglio V_s sono stati riportati nella figura seguente.

Unità	V_s (m/s)
A/B1	150
B	210
C e D	310

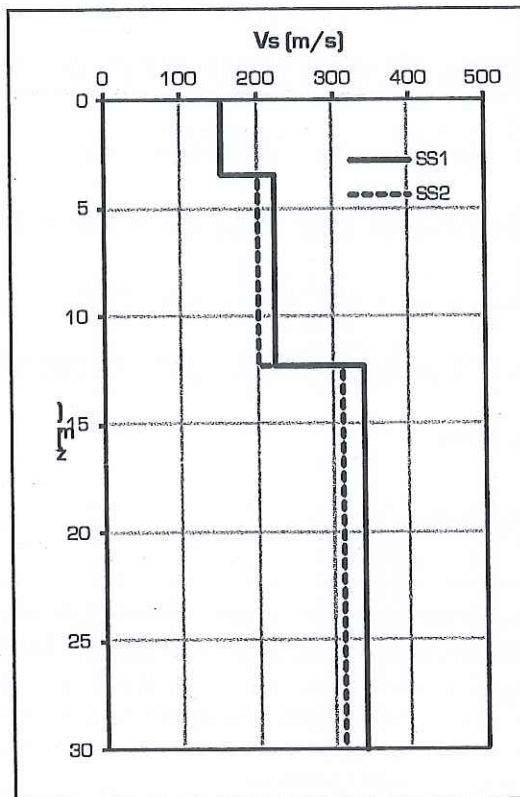


Figura 18: Profili di velocità delle onde di taglio



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

7 CLASSIFICAZIONE SISMICA AI SENSI DEL DM 14/01/2008

La norma citata classifica i suoli di fondazione sulla base della velocità delle onde di taglio (o in maniera equivalente sulla base del numero di colpi SPT) nei primi 30 m di profondità. In particolare, sono identificate cinque diverse categorie di suolo (A, B, C, D, E) per le quali sono forniti i parametri degli spettri di risposta, più due (S1 and S2) che richiedono analisi specifiche.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Sebbene a rigore esista una inversione delle proprietà meccaniche dei materiali per effetto della presenza del materiale di riporto, si è effettuata comunque la determinazione della categoria di sottosuolo secondo il DM 14/01/08. Dal momento che le sezioni stratigrafiche di progetto sono differenti per le opere a terra rispetto alle opere a mare sono state effettuate due diverse classificazioni. Per le opere a terra il valore rappresentativo è il seguente:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S,30,i}}} = \frac{30}{4.0/150 + 9.0/210 + 17.0/310} = 241 \text{ m/s}$$

Secondo tale criterio di classificazione, il suolo è classificabile in categoria "C".

Per le opere a mare, viceversa risulta:

$$V_{S,30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{S,30,i}}} = \frac{30}{5.0/150 + 7.0/210 + 18.0/310} = 241 \text{ m/s}$$

Secondo tale criterio di classificazione, il suolo è classificabile in categoria "C".

Con riguardo alle caratteristiche topografiche, infine, l'area può essere classificata in categoria "T1".

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

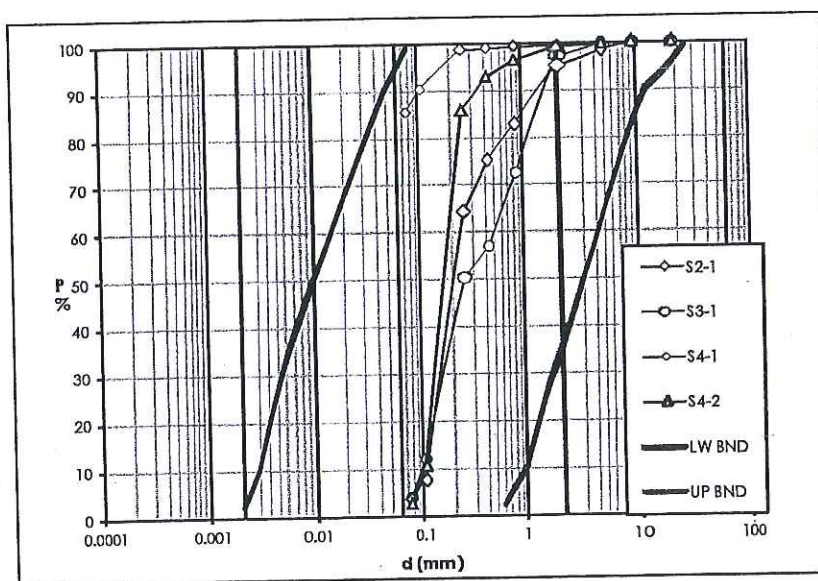
Figura 19: Stralcio carta zone sismogenetiche (ICMS, 2008)

Z.S.	Mwmax	R km	Ms	Ms>Mwmax
920	6.14	35	5.63	NO
922	5.45	70	6.54	SI
923	7.06	35	5.63	NO
927	7.06	42	5.87	NO
928	5.91	48	6.04	SI
M				7.06

I calcoli riportati nella tabella mostrano come le zone sismogenetiche 920, 923 e 927 non rispettino la condizione di esclusione, pertanto si deve ritenere per il sito in esame la massima magnitudo attesa uguale a 7.06.

8.2 Analisi granulometrica

Con la sola eccezione del campione S4-2, relativo all'unità stratigrafica D, tutte le curve granulometriche sono risultate comprese all'interno del fuso indicato dalla normativa, e pertanto sono potenzialmente liquefacibili.





10 RISPOSTA SISMICA LOCALE

10.1 Generalità

L'analisi della risposta sismica locale è stata condotta con un modello di propagazione monodimensionale, che computa la risposta di un sottosuolo stratificato indefinitamente esteso sovrapposto ad un semispazio uniforme sollecitato da onde di taglio a propagazione verticale. Il codice di calcolo utilizzato è lo Shake91.

Nei paragrafi seguenti sono stati in primo luogo determinati gli spettri elastici del DM 2008 in condizione di SLV, quindi sono stati esaminati i parametri di input del modello e quindi sono stati discussi i risultati.

10.2 Spettro semplificato secondo il DM 14/01/08

I parametri che descrivono la sismicità del sito sono riassunti di seguito.

- Lat. 41,21 N, Long. 13,57 E
- Zona sismica 2
- Tipologia di costruzione 2
- Vita nominale dell'opera $V_n = 50$ anni (dalla tabella 2.4.I del D.M. 14.01.2008)
- Classe d'uso II (dal paragrafo 2.4.2 del D.M. 14.01.2008)
- Coefficiente d'uso $C_u = 1.0$ (dalla tabella 2.4.II del D.M. 14.01.2008)
- Vita utile $V_r = 50$ anni

Nello stato limite di salvaguardia della vita SLV risulta:



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Probabilità di superamento $P_{vr} = 10\%$ (dalla tabella 3.2.I del D.M. 14.01.2008); il
corrispondente periodo di ritorno è $T_r = 475$ anni

Accelerazione al sito $a_{g/g} = 0.0767$

Coefficiente di amplificazione dello spettro orizzontale $F_0 = 2.763$

Coefficiente $S_s = 1.7 - 0.6 \times F_0 \times a_{g/g} > 1.5$ (dalla tabella 3.2.V del D.M. 14.01.2008)
per la cat. di suolo C.

Coefficiente $S_s = 2.4 - 1.5 \times F_0 \times a_{g/g} > 1.8$ (dalla tabella 3.2.V del D.M. 14.01.2008)
per la cat. di suolo D.

I parametri generali correlate all'analisi sismica sono i seguenti:

- Categoria di suolo C
- Categoria topografica T1
- Coefficiente di amplificazione topografica $S_t = 1.0$ (dalla tabella 3.2.IV del D.M. 14.01.2008)
- Coefficiente stratigrafico $S = S_s \times S_t$

Applicando le relazioni specificate nella norma si ottengono i due spettri elastici
corrispondenti al suolo C ed al suolo D, riportati nel paragrafo "risultati"..

10.3 Modello di sottosuolo

A ciascuna unità geologica è stata assegnata una delle curve di decadimento della
rigidezza tagliante ed una delle curve di variazione dello smorzamento fornite dalla
Regione Lazio, e riportate nelle figure seguenti.

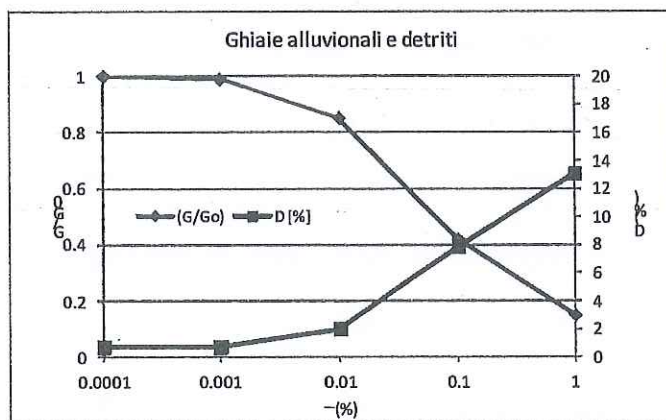


Figura 25: Unità stratigrafica 1 - curve G/G_0 - γ e D - γ

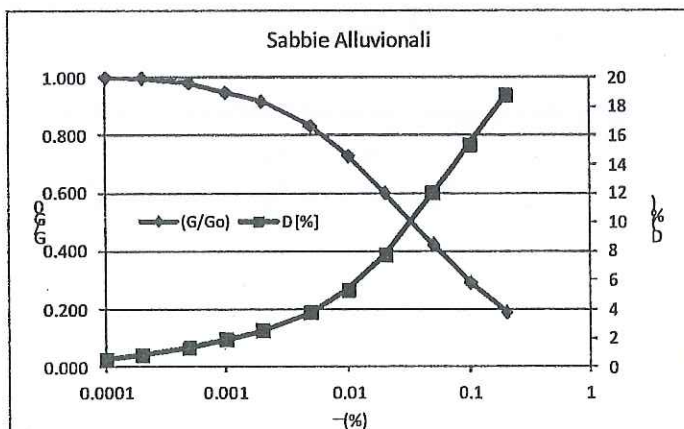


Figura 26: Unità stratigrafica 2 - curve G/G_0 - γ e D - γ

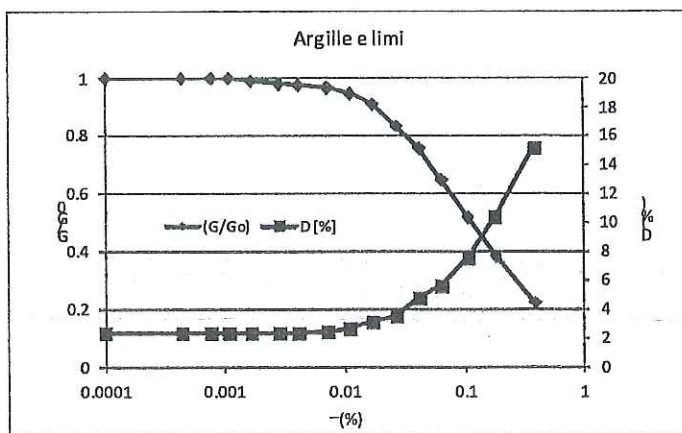


Figura 27: Unità stratigrafica 3 - curve G/G_0 - γ e D - γ



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

Il valore iniziale della rigidità tagliante a basso livello di deformazione è stato desunto dai risultati delle prove sismiche.

Sono stati esaminati due modelli di sottosuolo, relativi alla sezione stratigrafica "a terra" e alla sezione stratigrafica "a mare". Nelle tabelle seguenti ne sono state riassunte le caratteristiche rilevanti ai fini del calcolo.

Tabella 4: Sezione stratigrafica a terra - parametri utilizzati nella RSL

terreno	unità	tipo	γ kN/mc	γ kef	V_s m/s	V_s ft/s	G kN/mq	G ksf	D_0 %	spessore m	spessore ft
riporto	A	3	18.50	0.118	150	492	42431.19	869	0.7	5.00	16.40
organico	B1	1	16.30	0.104	150	492	37385.32	766	2.4	2.00	6.56
argille e limi	B	1	18.00	0.114	150	492	41284.4	846	2.4	2.00	6.56
sabbia alluvio	C	2	18.00	0.114	310	1017	176330.3	3613	0.5	11.00	36.08
argille e limi	D	1	18.50	0.118	310	1017	181228.3	3714	2.4	10.00	32.80

Tabella 5: Sezione stratigrafica a mare - parametri utilizzati nella RSL

terreno	unità	tipo	γ kN/mc	γ kef	V_s m/s	V_s ft/s	G kN/mq	G ksf	D_0 %	spessore m	spessore ft
organico	B1	1	16.30	0.104	150	492	37385.32	766	2.4	5.00	16.40
argille e limi	B	1	18.00	0.114	150	492	41284.4	846	2.4	7.00	22.96
sabbia alluvio	C	2	18.00	0.114	310	1017	176330.3	3613	0.5	2.00	6.56
argille e limi	D	1	18.50	0.118	310	1017	181228.3	3714	2.4	16.00	52.48

10.4 Accelerogrammi di input

La Regione Lazio ha suddiviso il territorio amministrato in una serie di Unità Amministrative Sismiche (non necessariamente coincidenti con i territori amministrati dai comuni), e quindi ha raggruppato le UAS in gruppi con caratteristiche sismologiche omogenee. La UAS comprendente il comune di Gaeta ricade nel Gruppo 1 - Area Tirrenica.

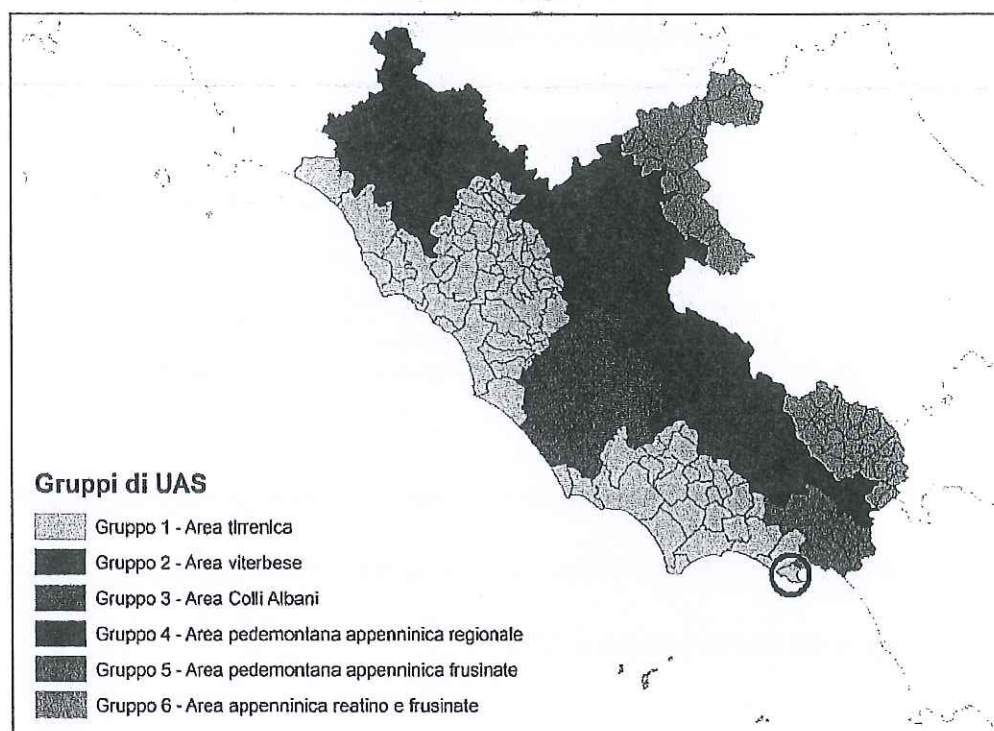


Figura 28: DGR 545/10 Lazio - Gruppi di UAS.

Per ogni UAS è stato calcolato il valore di $A_{g_{rif}}$ corrispondente alla massima accelerazione attesa del suolo, vale a dire per $T=0$, calcolato come 90esimo percentile dei valori elaborati da INGV (probabilità di eccedenza inferiore al 10% in 50 anni) compresi all'interno dei relativi confini amministrativi. Sono stati quindi selezionati per ciascun gruppo cinque accelerogrammi naturali estratti dalla "European strong motion database" i quali sono stati resi spettro compatibili per meglio approssimare i parametri di sismicità dell'area, e quindi scalati rispetto alla PGA, sì da poter essere moltiplicati per il valore di $A_{g_{rif}}$ della UAS di riferimento.

Nella figura seguente sono stati riportati i cinque accelerogrammi naturali di riferimento indicati dalla regione per la UAS di Gaeta.



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

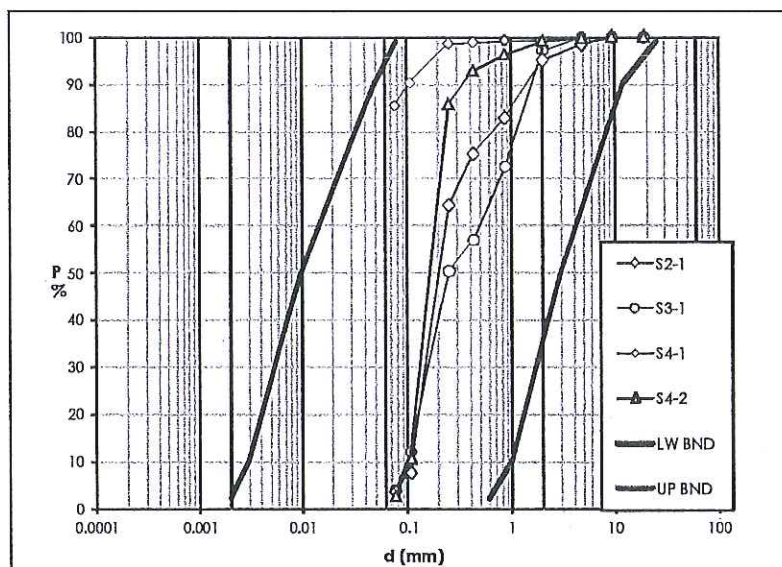
Figura 19: Stralcio carta zone sismogenetiche (ICMS, 2008)

Z.S.	Mwmax	R km	Ms	Ms>Mwmax
920	6.14	35	5.63	NO
922	5.45	70	6.54	SI
923	7.06	35	5.63	NO
927	7.06	42	5.87	NO
928	5.91	48	6.04	SI
M				7.06

I calcoli riportati nella tabella mostrano come le zone sismogenetiche 920, 923 e 927 non rispettino la condizione di esclusione, pertanto si deve ritenere per il sito in esame la massima magnitudo attesa uguale a 7.06.

8.2 Analisi granulometrica

Con la sola eccezione del campione S4-2, relativo all'unità stratigrafica D, tutte le curve granulometriche sono risultate comprese all'interno del fuso indicato dalla normativa, e pertanto sono potenzialmente liquefacibili.



8.3 Numero di colpi SPT normalizzato (N_1)₆₀

Molti metodi semplificati per la valutazione del potenziale di liquefazione assumono come parametro di resistenza il numero di colpi N_{SPT} . Il valore deve essere normalizzato ad una pressione efficace di 100 kPa (10 t/mq) e ad una prestazione energetica del 60% nell'esecuzione del test. Al riguardo si può utilizzare il seguente fattore correttivo:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{SPT} = \left(\frac{p_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.5} \times N_{SPT}$$

dove p_a è la pressione atmosferica, e σ'_{v0} la pressione efficace a quota strato.

Date le stratigrafie di progetto, il coefficiente C_N è stato combinato con l'effettivo numero di colpi per ottenere il valore normalizzato entro i primi 20 m. Nelle figure seguenti è riportato il risultato dell'elaborazione, per una scansione di profondità pari a 2 m per ciascuno dei due profili tipo.

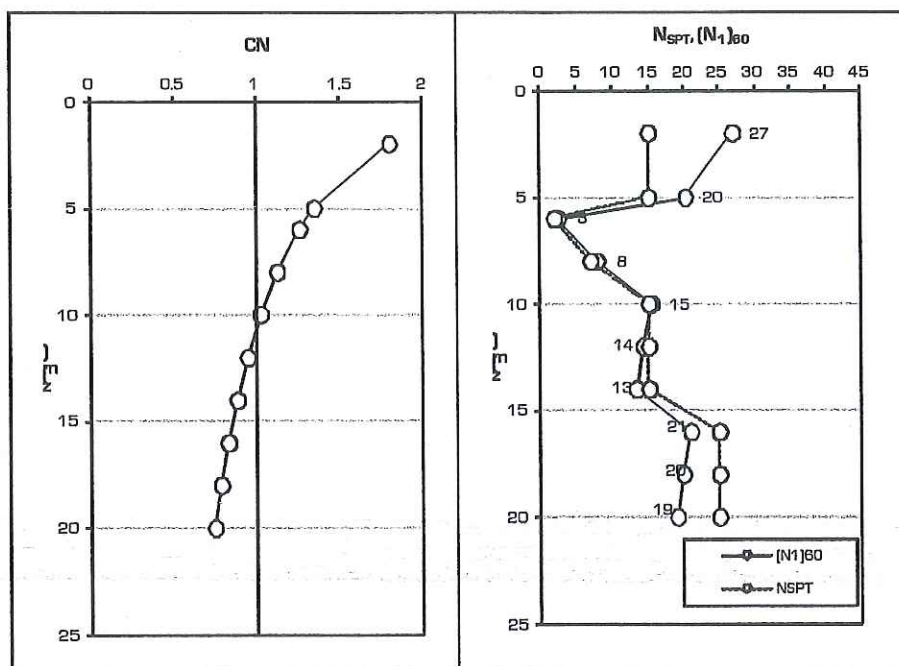


Figura 20: Opere a terra - Numero di colpi SPT normalizzato.

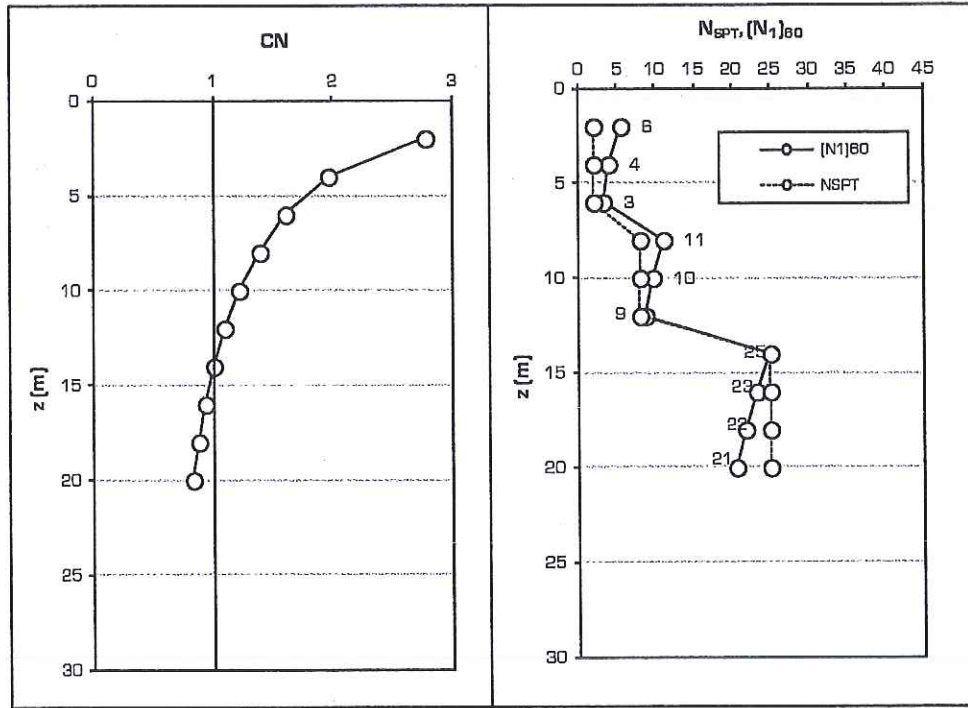


Figura 21: Opere a mare - Numero di colpi SPT normalizzato.

8.4 Accelerazione in campo aperto attesa

L'accelerazione attesa è definita sulla base di un valore di riferimento relativo a sottosuolo di classe A. In corrispondenza delle coordinate del sito in oggetto è definito il valore di 0.0767. L'accelerazione spettrale di ancoraggio è ottenuta moltiplicando questo dato per un coefficiente S, risultato del prodotto $S_s \times S_T$, con S_T (coefficiente di amplificazione topografica) uguale ad 1, and S_s (coefficiente stratigrafico) dato da:

$$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \times F_0 \times \left(\frac{ag}{g} \right) \leq 1.50 \rightarrow 1.70 - 0.60 \times 2.763 \times 0.0767 = 1.57 > 1.5$$

L'accelerazione attesa al sito risulta pari a:

$$\left(\frac{a_s}{g} \right) = 1.50 \times 0.0767 = 0.115$$



Il valore è stato modificato dall'analisi di risposta sismica locale riportata nei paragrafi seguenti; è stata calcolata per la stratigrafia di tipo A una accelerazione al suolo free field pari a 0.140g, mentre per la stratigrafia di tipo B è stata calcolata una accelerazione free field di 0.144 g.

8.5 Verifica a liquefazione

Secondo quanto riportato nei paragrafi precedenti, si può asserire che:

- La magnitudo attesa (7.06) è maggiore di 5;
- L'accelerazione attesa al piano campagna (0.115 g) è maggiore di 0.10 g;
- La profondità del livello della falda (-1.0 m dal p.c.) non è superiore a 15 m dal piano di campagna;
- Il numero di colpi normalizzato non è chiaramente superiore a 30;
- le curve granulometriche ricadono all'interno del fuso definito dalla normativa.

Per le ragioni sopra elencate, il sito è potenzialmente liquefacibile, pertanto occorre eseguire la verifica.

La verifica è eseguita definendo un rapporto di sforzo ciclico (CSR), che rappresenta la domanda di resistenza, e un rapporto di resistenza ciclico (CRR), che rappresenta la resistenza. Il rapporto tra CSR e CRR rappresenta il coefficiente di sicurezza alla liquefazione (FS).

Il rapporto CSR si può ottenere dalla formula semplificata di Seed & Idriss (1971):

$$CSR = 0.65 \times \left(\frac{a_g}{g} \right) \times \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \times r_d \times \frac{1}{MSF}$$



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

dove

(ag/g) è l'accelerazione attesa al suolo;

σ_{v0} e σ'_{v0} sono la pressione geostatica totale ed effettiva alla profondità di specie;

r_d è un coefficiente riduttivo della sollecitazione tagliante alla profondità analizzata;

MSF è il coefficiente di proporzionalità della magnitudo (magnitude scaling factor),
usato per normalizzare la magnitudo attesa alla magnitudo di riferimento pari a 7.5.

Nella figura seguente è rappresentata la relazione MSF - Magnitudo secondo
l'eurocodice 8. il valore proposto per il coefficiente MSF è 1.29.

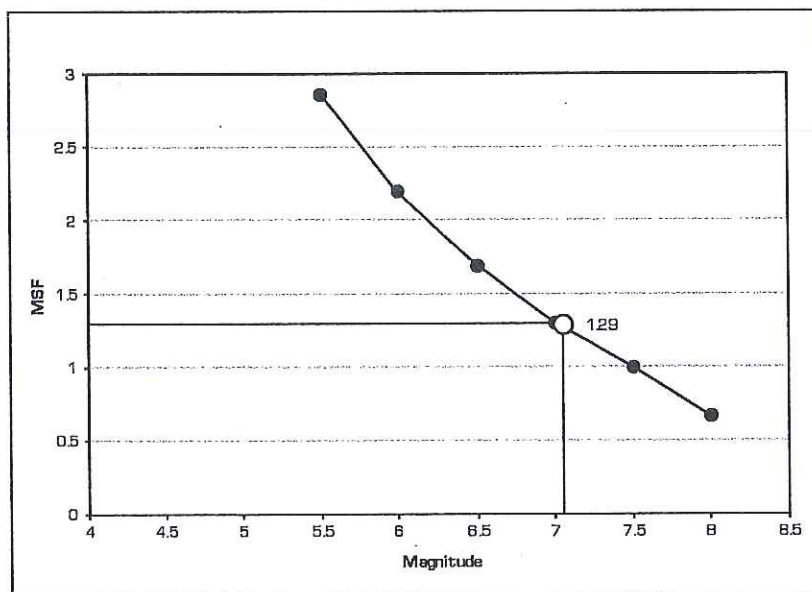


Figura 22: Fattore MSF secondo l'Eurocodice 8.

Il valore di r_d varia in funzione dello specifico metodo adoperato. In questo caso sono stati utilizzati i metodi di Seed (1982) e quello di Iwasaki (1984); secondo il primo:

$$r_d = 1 - 0.015 \times z, \text{ con } z \text{ in m}$$

per il secondo:



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

$$r_d = 1 - 0.00765 \times z \text{ se } z < 9.15 \text{ m};$$

$$r_d = 1.174 - 0.0265 \times z \text{ se } z > 9.15 \text{ m}.$$

In entrambi i metodi il rapporto di resistenza è dato in funzione del numero di colpi normalizzato $(N_1)_{60}$.

Secondo Seed & Idriss:

$$CRR = \left(\frac{(N_1)_{60} \times \left(\frac{1.7}{\sigma'_{v0} + 0.7} \right) + N_f}{90} \right)$$

con le pressioni espresse in kg/cm^2 , e N_f uguale 7.5 (d_{50} minore o uguale a 0.20 mm). Secondo Iwasaki:

$$CRR = 0.0882 \times \sqrt{\frac{(N_1)_{60}}{\sigma'_{v0} + 0.7}} + 0.225 \log_{10} \left(\frac{0.35}{d_{50}} \right)$$

I risultati per la stratigrafia tipica a terra sono rappresentati nella figura seguente.

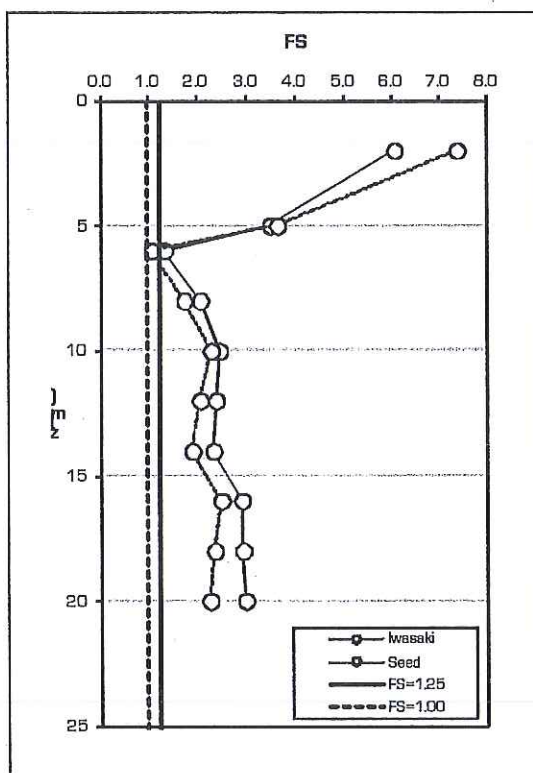


Figura 23: Coefficiente di sicurezza FS alla liquefazione secondo Seed & Idriss (1982) e Iwasaki (1984).

Da quanto sopra se ne deduce che la stratigrafia a terra non presenta strati liquefacibili.

Procedendo similmente, si ottengono i risultati rappresentati nella figura seguente per la tipica stratigrafia off shore.

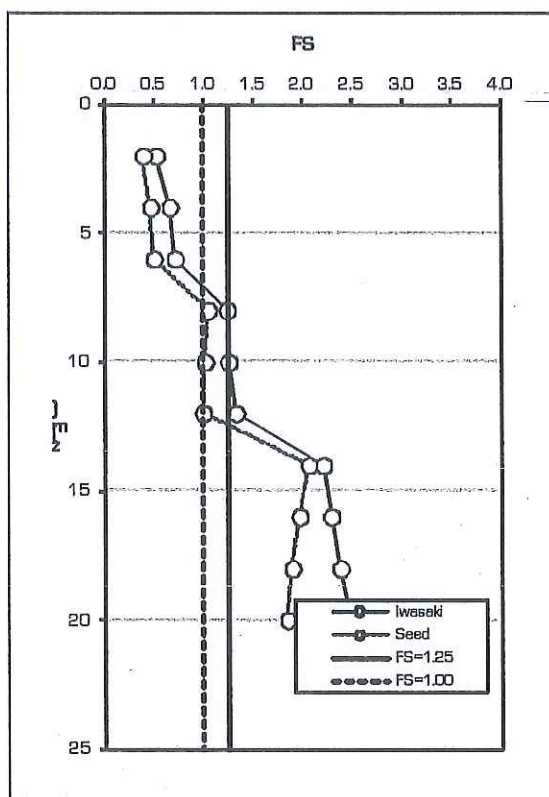


Figura 24: Coefficiente di sicurezza FS alla liquefazione secondo Seed & Idriss (1982) e Iwasaki (1984).

Risulta potenzialmente liquefacibile l'unità B1.

Da quanto sopra, si ritiene che per le opere a terra non sia necessario proporre interventi di mitigazione del rischio. Sono possibili fondazioni dirette, a patto che siano di adeguata rigidezza.

Per le opere a mare il discorso è più articolato. Una parte d'opera sarà eseguita su pali (l'allargamento della banchina esistente), mentre un'altra sarà costituita da cassoni in calcestruzzo poggianti direttamente sul fondale previa l'interposizione di un sottofondo roccioso (la nuova banchina). Per il calcolo dei pali sarà consigliabile trascurare il contributo resistente dei primi 5 m di terreno, mentre l'incremento di pressione totale (e



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

quindi di pressione efficace conseguente all'installazione dei cassoni consentirà di incrementare il coefficiente di sicurezza senza particolari interventi di costipamento.



9 VERIFICA DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI EFFETTUATA

Secondo la normativa introdotta dalla Regione Lazio il livello di approfondimento dell'indagine geognostica e quindi della modellazione geotecnica è collegato alla pericolosità sismica del sito.

L'intero Comune di Gaeta è classificato in zona 3A, mentre l'area può essere classificata come a "alta pericolosità geologica" (Tipo C) a causa della suscettibilità alla liquefazione. Pertanto, la classe di rischio geologico identificata ai sensi dell'allegato C al Regolamento 02/2012 è "Rischio Alto".

Il livello minimo di indagini geognostiche richiesto è riassunto di seguito:

- Almeno un Sondaggio geognostico con prelievo di campioni per la determinazione delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di fondazione tramite analisi di laboratorio, oppure almeno 2 Prove Penetrometriche, di tipo DPSH o CPT, che indaghino il volume significativo come definito dal DM 14.01.2008 e dalla Circolare 02.02.2009;
- Almeno 2 prove geofisiche di comprovata validità e affidabilità che raggiungano la profondità necessaria per il calcolo delle Vs30;
- Prova sismica diretta, di tipo DownHole o CrossHole, solo per le strutture Strategiche e/o Rilevanti di cui all'Al. 2 della DGR 387/09
- Verifiche di stabilità ante e post-operam dei versanti, laddove necessario

Dal momento che:

- Sono stati eseguiti tre sondaggi a carotaggio continuo con prelievo di 6 campioni indisturbati sui quali eseguire la determinazione delle



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

caratteristiche geomeccaniche, nonché tre verticali DPSH che indagano il volume significativo come definito dal DM 14.01.2008 e dalla Circolare 02.02.2009;

- Sono stati eseguiti due profili MASW per la determinazione diretta delle Vs30;
- Non sussistono problemi di stabilità dei versanti;

Si ritiene che l'indagine effettuata sia per lo stadio della progettazione compatibile con il dettato minimo del Regolamento Regionale; nel corso della integrazione delle indagini geognostiche già prevista per la finalizzazione della fase esecutiva saranno effettuate prove di determinazione diretta delle velocità delle onde di taglio (Cross Hole o Down Hole).

Dal momento che il sito è potenzialmente liquefacibile, si rende necessaria l'analisi della risposta sismica locale.

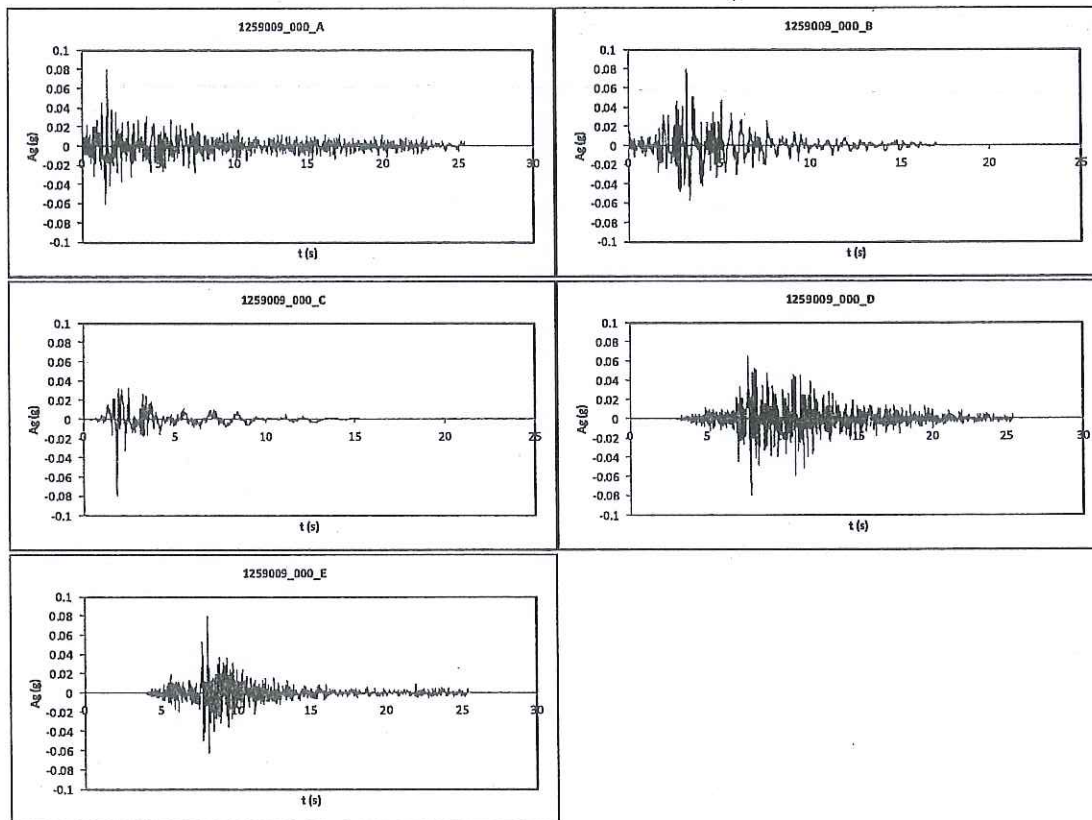


Figura 29: Accelerogrammi di riferimento per la UAS di Gaeta.

10.5 Risultati della RSL

Per ciascun accelerogramma nella sua forma naturale e spettro compatibile è stata effettuata la deconvoluzione per ciascun profilo stratigrafico. Lo spettro risultante, ricavato dal valor medio dei singoli spettri così calcolati, è stato standardizzato riportandolo alla forma adoperata dal DM 14/01/08, ovvero delimitando i tratti ad accelerazione, velocità e spostamento costanti, ed è stato quindi confrontato con gli spettri di progetto previsti dalla normativa.

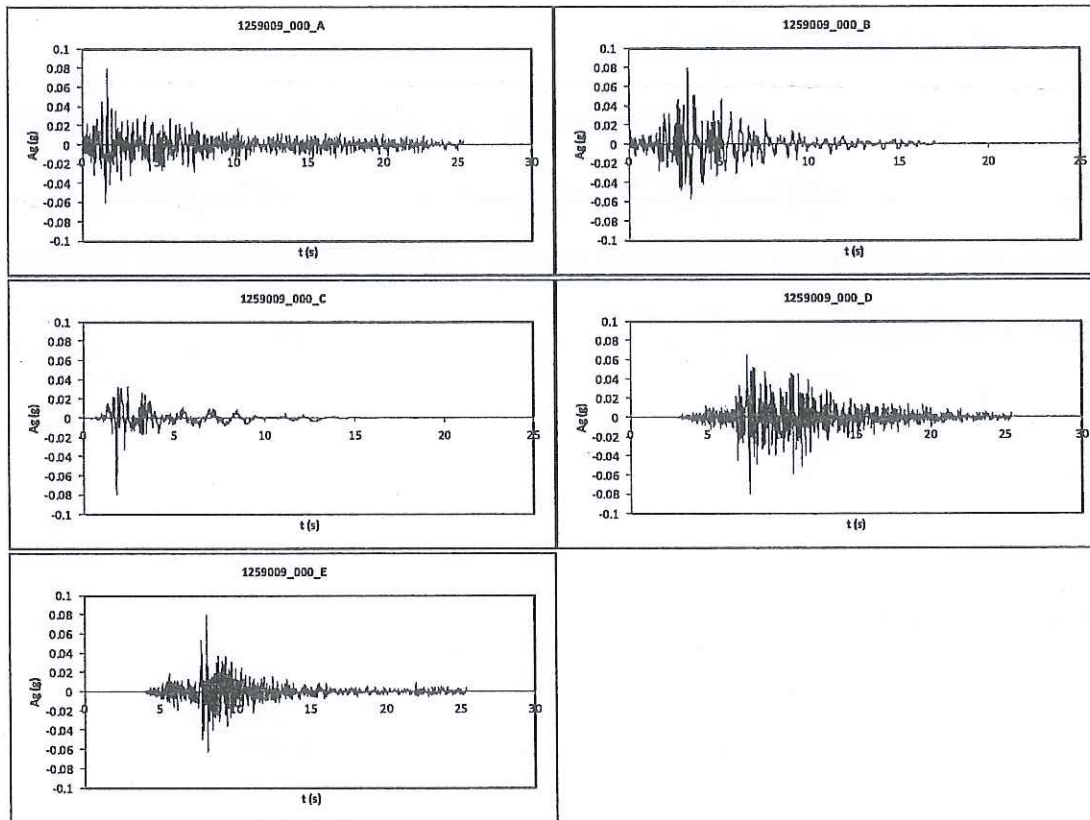


Figura 29: Accelerogrammi di riferimento per la UAS di Gaeta.

10.5 Risultati della RSL

Per ciascun accelerogramma nella sua forma naturale e spettro compatibile è stata effettuata la deconvoluzione per ciascun profilo stratigrafico. Lo spettro risultante, ricavato dal valor medio dei singoli spettri così calcolati, è stato standardizzato riportandolo alla forma adoperata dal DM 14/01/08, ovvero delimitando i tratti ad accelerazione, velocità e spostamento costanti, ed è stato quindi confrontato con gli spettri di progetto previsti dalla normativa.

10.5.1 Profilo stratigrafico A (a terra)

Nella figura seguente sono stati riportati gli spettri di risposta dei singoli accelerogrammi, mentre nella figura successiva è stata riportata la media, il confronto con lo spettro elastico da DM2008 e la standardizzazione. In termini di quest'ultima, i parametri dello spettro sono i seguenti:

$$S = 3.081$$

$$T_b = 0.450 \text{ s}$$

$$T_c = 0.512 \text{ s}$$

oltre che ovviamente:

$$\text{Accelerazione al sito } a_{g/g} = 0.0767$$

$$\text{Coefficiente di amplificazione dello spettro orizzontale } F_0 = 2.763$$

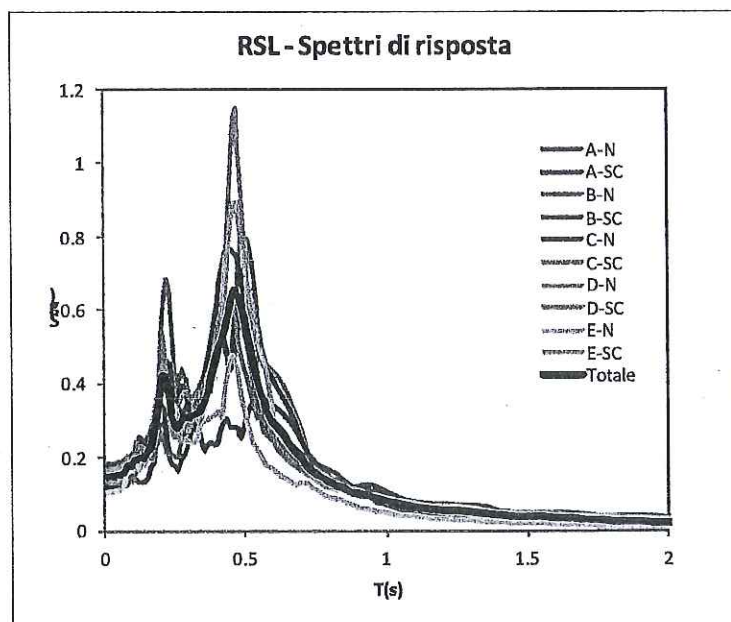


Figura 30: Profilo A - media degli spettri

Dal confronto degli spettri, peraltro, si può osservare come i due picchi di amplificazione spingano lo spettro normalizzato più verso un suolo di tipo D che di tipo C, con differenza tra il profilo normalizzato ricavato dalla RSL e quello elastico proposto dal DM08 decisamente superiori al 10% in corrispondenza del periodo proprio atteso per le strutture in progetto (0.1 - 0.2s)

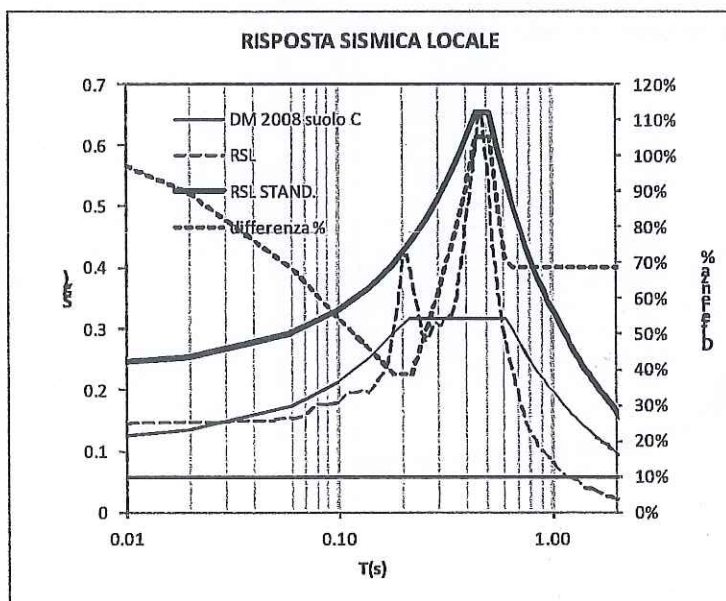


Figura 31: Profilo A - Confronto tra spettro RSL standardizzato e spettro semplificato da DM 14/01/08

10.5.2 Profilo stratigrafico B (a mare)

Nella figura seguente sono stati riportati gli spettri di risposta dei singoli accelerogrammi, mentre nella figura successiva è stata riportata la media, il confronto con lo spettro elastico da DM2008 e la standardizzazione. In termini di quest'ultima, i parametri dello spettro sono i seguenti:

$$S = 3.573$$

$$T_b = 0.450 \text{ s}$$

$T_c = 0.470s$

oltre che ovviamente:

Accelerazione al sito $a_{g/g} = 0.0767$

Coefficiente di amplificazione dello spettro orizzontale $F_0 = 2.763$

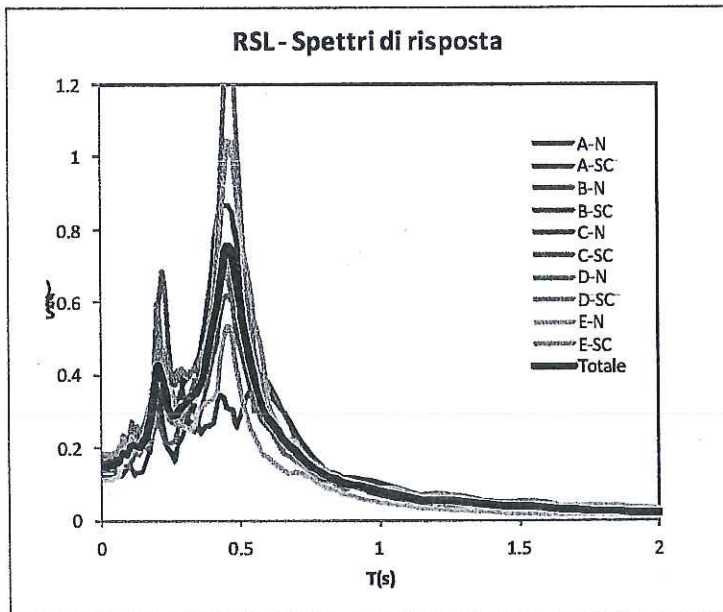


Figura 32: Profilo B - media degli spettri

Anche in questo caso lo spettro normalizzato è più prossimo ad un profilo D che ad un profilo C, e le differenze con lo spettro standard di normativa sono superiori al 10%.

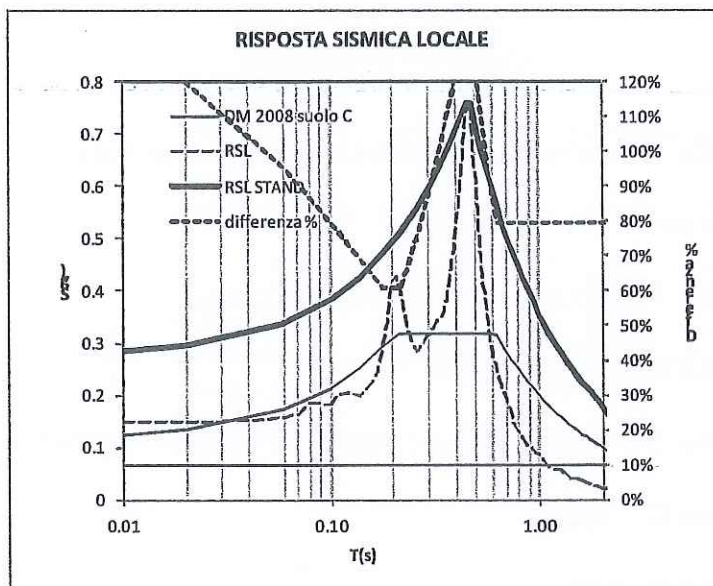


Figura 33: Profilo B - Confronto tra spettro RSL standardizzato e spettro semplificato da DM 14/01/08



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

11 CONCLUSIONI

Lo studio qui presentato ha consentito la individuazione nel sottosuolo in esame delle seguenti unità stratigrafiche:

- **Unità stratigrafica A** - Riporto antropico/trovanti lapidei
- **Unità stratigrafica B** - Limo sabbioso
- **Unità stratigrafica B1** - Limo sabbioso sciolto con frazioni organiche
- **Unità stratigrafica C** - Sabbia
- **Unità stratigrafica D** - Limo

La variabilità della stratigrafia ha consentito di individuare due sezioni tipo, una rappresentativa della stratigrafia a terra (Sezione A) ed una rappresentativa della stratigrafia a mare (Sezione B).

Le caratteristiche fisiche e meccaniche delle unità stratigrafiche sono riportate nella tabella seguente:

Tabella 6: Riepilogo caratteristiche dei terreni.

Unità	γ (kN/m ³)	Deformabilità (kN/m ²)	Rottura		
			ϕ' (degs)	C' (kN/m ²)	Cu (kN/m ²)
A	18.5	Eed = 14000	35	o	o
B	18.0	Eed = 2000	28	o	o
B1	16.5	Eed = 660	28	o	o
C	18.0	Eed = 3500	35	o	o
D	18.5	Eed = 4000	28	10	150

La quota del fluido di porosità è coincidente con il livello medio mare.



PROGETTO DI AMPLIAMENTO, RIQUALIFICAZIONE AMBIENTALE ED ADEGUAMENTO
TECNOLOGICO DEL PORTO TURISTICO
"BASE NAUTICA FLAVIO GIOIA"

E' stata rilevata la potenziale liquefacibilità delle unità B e B1 nella sezione stratigrafica B. Sono state fornite al riguardo delle indicazioni di cautela progettuale

E' stata effettuata una analisi della risposta sismica locale per entrambe le sezioni tipiche, a valle della quale sono state ridefiniti gli spettri di risposta normalizzati.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Napoli, 20/06/2013

Ing. Pietro Di Stefano

