

Concessionario:

**PORTO TURISTICO  
INTERNAZIONALE DI RAPALLO S.p.A.**

**Porto Carlo Riva**



Rapallo

Calata Andrea Doria, 2 - 16035 Rapallo (GE)

Committente:



**ARGO S.r.l.**

Piazza Generale Armando Diaz, 1 - 20123 MILANO

Titolo generale:

**PORTO TURISTICO INTERNAZIONALE DI RAPALLO  
INTERVENTI DI MIGLIORAMENTO DELLA SICUREZZA  
DELLO SPECCHIO ACQUEO**

**PROGETTO DEFINITIVO**

Titolo elaborato:

**RELAZIONE GEOTECNICA**

Progettazione esecutiva architettonica:



Progettazione esecutiva fasi 2 e 4:



Corso Torino 17/6 sc.A - 16129 Genova  
Tel. 010.5740568  
E-mail: studio@ingepro.eu  
PEC: studio@pec.ingepro.eu  
C.F. e P. IVA: 02726060995

Progettazione esecutiva impiantistica:

**STUDIO TECNICO QUEIROLO**

Via Piani di Coreglia 38/2 - 16040 COREGLIA  
Tel. 0185.334127 Fax 0185.334027  
e-mail: info@studioqueirolo.com  
P. IVA: 01089270993

0	Aprile 2022	MLB	MGM	AD	Emissione
Revisione	Data	Redatto da:	Verificato da:	Approvato da:	Descrizione

Data:

Aprile 2022

Scala:

-

Codice interno:

Codice generale elaborato:

**V3-R-06-00**

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## INDICE

<b>1</b>	<b>Premessa .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Riferimenti normativi .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Descrizione degli interventi a progetto.....</b>	<b>6</b>
3.1.1	Rinforzo della banchina del Molo Lignano .....	6
3.1.2	Rinforzo della banchina piazzale.....	7
<b>4</b>	<b>Caratteristiche dei materiali .....</b>	<b>9</b>
<b>5</b>	<b>Caratterizzazione geotecnica .....</b>	<b>10</b>
<b>6</b>	<b>Effetti sismici .....</b>	<b>14</b>
<b>7</b>	<b>Carichi agenti .....</b>	<b>15</b>
7.1	Spinta del terreno.....	15
7.2	Sovraccarico variabile stradale.....	15
7.3	Tiro delle bitte .....	15
<b>8</b>	<b>Combinazioni di carico.....</b>	<b>16</b>
<b>9</b>	<b>Approccio e schemi di calcolo .....</b>	<b>18</b>
9.1	Banchina molo Lignano.....	18
9.2	Banchina piazzale.....	19
<b>10</b>	<b>Verifiche di sicurezza.....</b>	<b>20</b>
10.1	Banchina molo Lignano.....	20
10.1.1	Azioni agenti .....	20
10.1.1.1	Pesi propri.....	20
10.1.1.2	Spinta attiva del terreno a tergo.....	20
10.1.1.3	Spinta del sovraccarico variabile.....	22
10.1.1.4	Tiro delle bitte .....	24
10.1.1.5	Incrementi di spinta sismici.....	24
10.1.2	Verifiche geotecniche.....	27
10.1.2.1	Verifiche a ribaltamento.....	27
10.1.2.2	Verifiche a scorrimento .....	27

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	1 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

10.1.2.3	Verifiche a capacità portante del terreno di fondazione .....	28
10.1.2.4	Verifica a sfilamento dell'ancoraggio .....	31
10.2	Banchina piazzale.....	33
10.2.1	Azioni agenti .....	33
10.2.1.1	Pesi propri.....	33
10.2.1.2	Spinta attiva del terreno a tergo.....	33
10.2.1.3	Spinta del sovraccarico variabile.....	35
10.2.1.4	Tiro delle bitte .....	35
10.2.1.5	Incrementi di spinta sismici.....	35
10.2.2	Verifiche geotecniche.....	38
10.2.2.1	Verifiche a ribaltamento.....	38
10.2.2.2	Verifiche a scorrimento .....	39
10.2.2.3	Verifiche a capacità portante del terreno di fondazione .....	40
10.2.2.4	Verifica a sfilamento dell'ancoraggio .....	41

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	2 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## **INDICE DELLE FIGURE**

Figura 3.1 – Sezione tipo rinforzo banchina Molo Langano.....	7
Figura 3.2 – Sezione tipo rinforzo banchina piazzale .....	8
Figura 5.1 – Ubicazione in pianta dei sondaggi effettuati nella campagna 2022.....	10
Figura 9.1: Schema di calcolo banchina molo Langano.....	18
Figura 9.2: Schema di calcolo banchina piazzale.....	19

## **INDICE DELLE TABELLE**

Tabella 5-1: risultati angoli di attrito strato 1 .....	12
Tabella 5-2: risultati angoli di attrito strato 1 .....	12
Tabella 6-1: Parametri sismici caratteristici per gli stati limite ultimi e di esercizio .....	14
Tabella 7-1: Tiro a metro lineare bitte.....	15
Tabella 8-1: Coefficienti parziali delle azioni .....	16
Tabella 10-1: Sintesi componenti orizzontale e verticale agenti nei tiranti.....	31
Tabella 3: Sintesi componenti orizzontale e verticale agenti nei tiranti.....	41

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	3 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 1 PREMESSA

Nella giornata del 29 e nella notte tra il 29 e il 30 ottobre l'eccezionale mareggiata abbattutasi nella costa ligure ha provocato, tra gli altri, ingentissimi danni nel Golfo di Rapallo e soprattutto alle strutture portuali del Porto Turistico Internazionale – Porto Carlo Riva.

A seguito di ciò, è stato elaborato un “*Piano Generale di Messa in Sicurezza delle Opere a Difesa e Tutela dell’Abitato e dell’Area Portuale*” che prevedeva diverse fasi di intervento, finalizzate al ripristino delle condizioni di sicurezza delle opere di difese a mare, con riferimento primariamente al molo sopraflutto (Molo Sud), fino alla ricostruzione di tutta la marina (in vista del recupero della sua funzionalità operativa e della conseguente ripresa del servizio portuale).

Il Piano ha previsto tre progressive fasi di intervento:

- Fase 1: ripristino urgente della mantellata dell’opera di difesa a mare;
- Fase 2: interventi di manutenzione e miglioramento delle seguenti strutture:
  - o Fase 2.1 Molo alla foce del T. Boate (Molo Duca degli Abruzzi)
  - o Fase 2.2 Molo Langano
  - o Fase 2.3 Pontili
  - o Fase 2.4 Molo Est
- Fase 3: potenziamento opere difesa mare Molo Sud.

Gli interventi della Fase 1, così come quelli delle Fasi 2.1 e 2.2, sono stati realizzati nel 2019.

Il progetto delle Fasi residue del “Piano di Messa in Sicurezza” (Fasi 2.3 e 2.4 e Fase 3), è stato approvato con il Decreto del Presidente della Regione Liguria quale Commissario Delegato n. 9/2020 del 06.02.2020. I lavori sono stati effettivamente avviati il 03.05.2021, attualmente le opere sono in corso di esecuzione, con particolar riguardo al potenziamento dell’opera di difesa (“ripristino ed il potenziamento del molo sopraflutto - molo Sud”), che sarà completato entro l’autunno 2022.

Durante il corso dei lavori è emersa la necessità, oltre che di migliorare la sicurezza nei confronti delle mareggiate già assicurata dall’opera approvata, anche di migliorare la sicurezza della marina nei confronti della navigazione e dell’organizzazione dello specchio acqueo, apportando limitate modifiche rispetto alla configurazione delle strutture preesistenti: nel presente progetto sono presentate queste modifiche, finalizzate all’ottimizzazione, ammodernamento e miglioramento della funzionalità delle strutture interne portuali, aumentando la sicurezza della circolazione e dell’ormeggio nello specchio d’acqua, anche in adeguamento a prescrizioni che l’iter di VIA ha apposto alle opere inerenti il molo sopraflutto (molo Sud), che impongono di differenziare in parte l’assetto degli ormeggi rispetto alla situazione ante mareggiata.

Per la descrizione degli interventi si faccia riferimento all’elaborato progettuale “V3-R01-00 – *Relazione illustrativa*” e agli elaborati grafici facenti parte della presente progettazione.

Con riferimento alla sopra citata relazione illustrativa, nel presente documento sono riportate le verifiche geotecniche della banchina del piazzale e del molo Langano a seguito delle modifiche delle stesse.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	4 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 2 RIFERIMENTI NORMATIVI

I calcoli riportati nel presente progetto sono eseguiti in conformità alla normativa vigente e specificamente alle norme tecniche seguenti:

- D.M. 17.01.2018 – *Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”*;
- Circolare n.7 del 21.01.2019 – *Istruzioni per l’applicazione dell’«Aggiornamento delle “Norme tecniche per le costruzioni”» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2018*;
- D.G.R. Deliberazione della Giunta Regionale (Bollettino ufficiale della Regione Liguria) 19/11/2010 N. 1362, Nuova classificazione sismica regionale del 17/03/2017;
- Eurocodice 7 – “Progettazione geotecnica”

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	5 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

### 3 DESCRIZIONE DEGLI INTERVENTI A PROGETTO

Per una descrizione dettagliata degli interventi previsti a progetto si faccia riferimento al documento “V3-R01-00 – *Relazione illustrativa*” facente parte della presente progettazione.

Con riferimento agli elaborati grafici di progetto, la presente relazione di calcolo si riferisce agli interventi di rinforzo delle banchine del piazzale e del molo Langano.

Di seguito, per ciascuna zona, si riporta una breve descrizione dell'intervento previsto a progetto.

#### 3.1.1 **Rinforzo della banchina del Molo Langano**

Il molo Langano, per il quale il progetto approvato non prevedeva opere, era già stato oggetto di manutenzione straordinaria della superficie e del bordo banchina, con la Fase 2.2 prevista dal Piano generale di messa in sicurezza.

I nuovi ormeggi delle unità più grandi implicano un significativo incremento del tiro sulle bitte, che devono essere quindi adeguate, mediante rinforzo strutturale, non potendo essere assorbito dalla struttura di banchina attuale. Inoltre, la stessa banchina fondata a -2,80 m s.l.m.m., non è adeguatamente profonda per gli scafi delle grandi unità e non è adeguatamente protetta nei confronti delle erosioni che possono manifestarsi a causa dell'azione diretta dei propulsori principali.

Per tali motivi il progetto prevede il rinforzo della banchina attuale mediante una serie di opere speciali di fondazioni che possano fornire risposta a tutte le esigenze, senza necessità di modifica sostanziale della tipologia costruttiva.

I massi artificiali di banchina, infatti, rimarranno invariati nelle loro dimensioni e posizioni, ma saranno rinforzati in fondazione da colonne di terreno trattato (jet-grouting) lunghe 4,0 m e realizzate previa la foratura degli stessi massi. Le colonne di jet ed i massi saranno rinforzati e solidarizzati con armature metalliche tubolari collegate in testa dalla nuova sovrastruttura di coronamento. Le forze orizzontali derivanti dai tiri delle bitte saranno trasferite al sottosuolo, fino all'orizzonte roccioso calcareo, mediante tiranti passivi inclinati a 45 gradi e convergenti anch'essi sul coronamento di banchina.

Per realizzare tali interventi fondazionali, il coronamento attuale in c.a. sarà demolito, contestualmente al cunicolo impianti, e poi ricostruito. Anche il cunicolo sarà ricostruito, di dimensioni adeguate ai sottoservizi necessari per fornire servizio alle nuove unità navali.

Gli interventi di rinforzo sopra descritti, riguardano esclusivamente aspetti interrati, mentre l'aspetto esteriore della banchina rimane inalterato.

Il fondale antistante al piede di banchina sarà riprofilato, laddove interferente con le profondità attese di 5,00 m ed alcuni elementi lapidei presenti saranno salpati.

Nella figura seguente è riportata una sezione tipo dell'intervento di rinforzo della banchina del Molo Langano.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	6 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

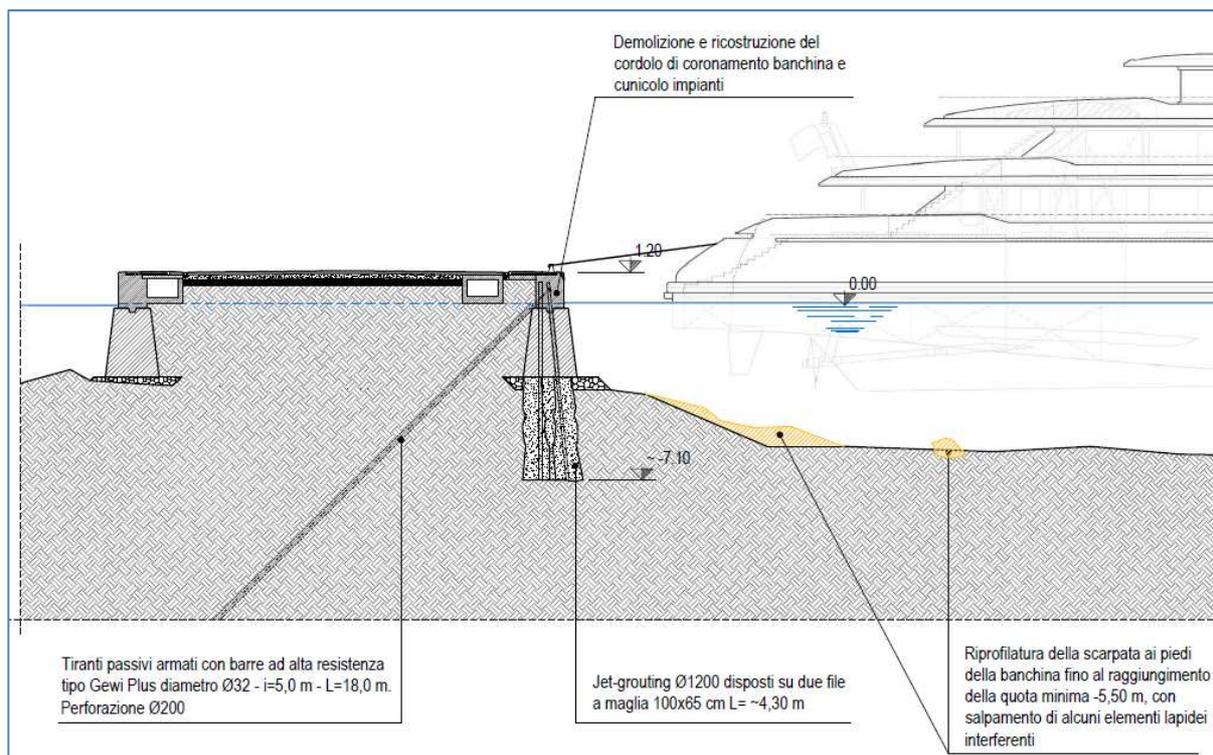


Figura 3.1 – Sezione tipo rinforzo banchina Molo Langano

### 3.1.2 Rinforzo della banchina piazzale

Il concetto e le necessità di intervento del Molo Langano valgono anche per la banchina del piazzale antistante la palazzina degli uffici, con la differenza che tale banchina in origine non era destinata all'ormeggio, se non limitatamente a piccole barche o gommoni di servizio.

Nell'ambito del progetto approvato, la banchina del piazzale era prevista rinnovata ma non alterata nella sua funzionalità. L'eliminazione del pontile n°1 previsto nel presente progetto di variante, consente di sfruttare l'accosto e realizzare alcuni ormeggi di unità medio-grandi nella zona più centrale del porto, laddove la rivisitazione delle opere a terra ambisce ad accentrare i servizi pubblici, commerciali e di ristorazione, con elevata percorribilità pedonale.

La banchina è fondata a soli -1,80 m s.l.m.m., e pertanto soffre delle stesse carenze legate alla stabilità, idoneità di fondale e protezione dello scanno di imbasamento già descritte per il Langano, ma maggiormente pronunciate.

Le modalità di rinforzo saranno le medesime di quelle previste per il Molo Langano, con un insieme di opere speciali di fondazione in grado di sottoporre, proteggere, collegare e rendere stabile l'insieme dei massi di banchina e del cordolo di coronamento, garantendo la resistenza nei confronti dei nuovi carichi orizzontali a cui la banchina sarà chiamata a rispondere.

Anche in questo caso, per realizzare tali interventi fondazionali il coronamento attuale in c.a. sarà demolito, contestualmente al cunicolo impianti, e poi ricostruito, tuttavia tali interventi erano già previsti tra quelli facente parte del progetto approvato. Anche in questo caso, gli interventi di rinforzo sono completamente neutri nei confronti dell'aspetto esteriore della banchina.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	7 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

Il piede della scarpata sarà riprofilato per consentire un più rapido raccordo con il fondale naturale e non interferire con le barche in accosto.

Nella figura seguente è riportata una sezione tipo dell'intervento di rinforzo della banchina del piazzale.

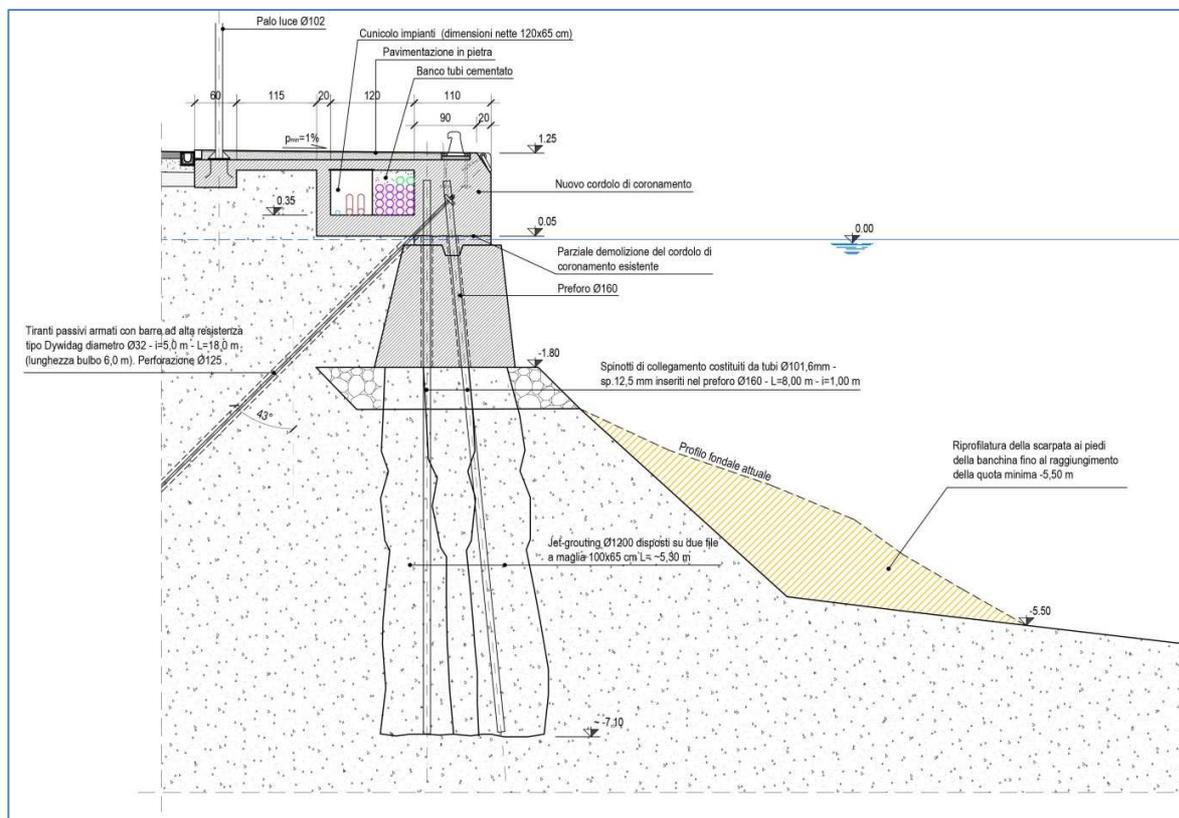


Figura 3.2 – Sezione tipo rinforzo banchina piazzale

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	8 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

#### 4 CARATTERISTICHE DEI MATERIALI

Di seguito si riportano le caratteristiche meccaniche dei materiali previsti a progetto:

##### **Calcestruzzo armato per cunicolo e cordolo di bancina:**

- Caratteristiche di resistenza: C35/45 ( $R_{ck} > 45 \text{ N/mm}^2$ )
- Resistenza caratteristica cilindrica a compressione  $f_{ck} = 37,35 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a compressione  $f_{cd} = 21,17 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza media a trazione semplice  $f_{ctm} = 3,35 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a trazione semplice  $f_{ctk} = 2,35 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a trazione semplice  $f_{ctd} = 1,56 \text{ N/mm}^2$

##### **Acciaio per calcestruzzo armato:**

- Tipo B450C zincato a caldo
- Resistenza caratteristica a rottura  $f_{tk} = 540,0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} = 450,0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza di calcolo a snervamento  $f_{yd} = 391,3 \text{ N/mm}^2$

##### **Acciaio per profili in acciaio:**

- Tipo S355JR
- Resistenza caratteristica a rottura  $f_{tk} = 510,0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{yk} = 355,0 \text{ N/mm}^2$

##### **Acciaio per tiranti passivi:**

- Acciaio ad alta resistenza tipo dywidag Y1050H
- Resistenza caratteristica a rottura  $f_{tk} = 1.050,0 \text{ N/mm}^2$
- Resistenza caratteristica a snervamento  $f_{p0,1k} = 950,0 \text{ N/mm}^2$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	9 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Durante la progettazione dei lavori di messa in sicurezza a seguito degli eventi del 29-30 ottobre 2018, era stata effettuata una campagna di indagini geognostiche e geotecniche atte a definire soprattutto le caratteristiche del fondale su cui è imbasata la diga foranea. Tali indagini, i cui esiti sono contenuti nei documenti progettuali delle Fasi 3, 2.3 e 2.4, consistevano in sondaggi diretti con recupero di carote e prove Masw eseguite sul rilevato del molo sud, nonché prove vibrazionali sui pali dei pontili.

A supporto della presente progettazione, le indagini suddette sono state implementate con una ulteriore campagna di indagini mirata a definire i modelli geotecnici utili alla progettazione delle opere in oggetto.

La campagna è stata eseguita nei mesi di gennaio-febbraio 2022 e ha consistito nell'esecuzione di ulteriori sondaggi e prove Masw, oltre che esecuzione di prove di laboratorio su campioni del terreno indisturbato, lungo il piazzale e in corrispondenza della radice e della testata del Molo Langano. Tali indagini, effettuate dalla ditta Injectosond Italia S.r.l., hanno consentito di definire il modello geotecnico di riferimento per la progettazione esecutiva delle opere.

Nella planimetria seguente è riportata l'ubicazione delle indagini effettuate.

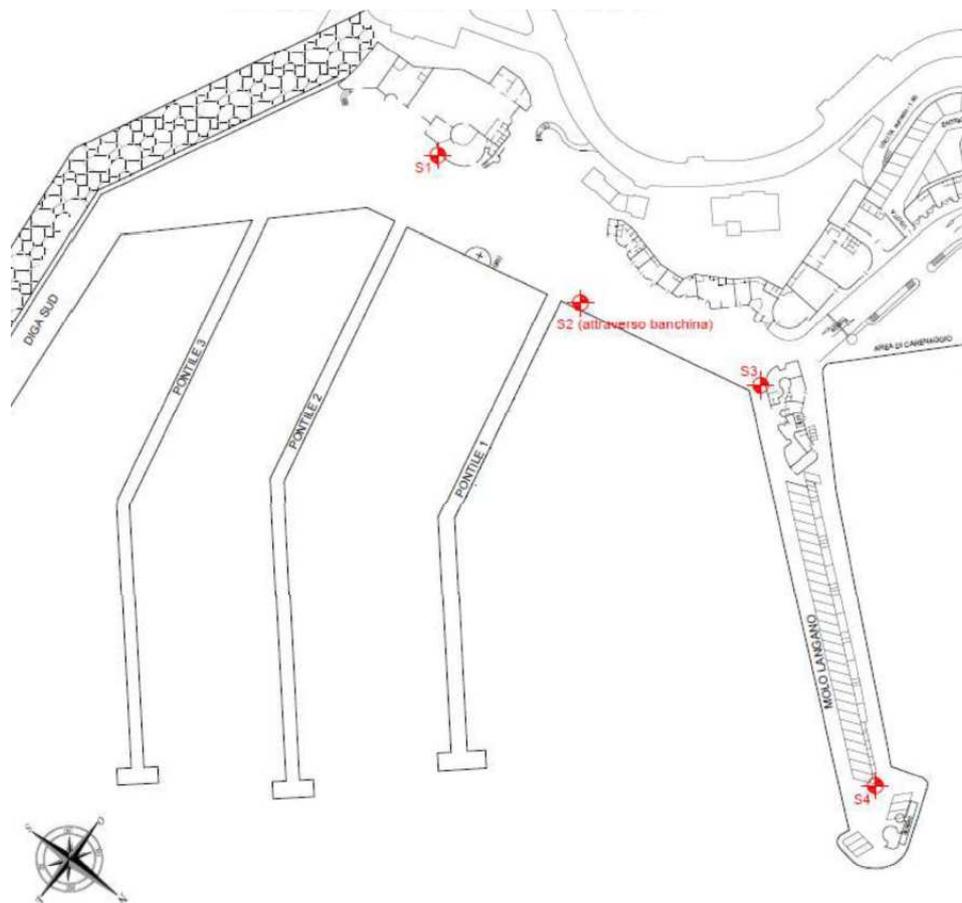


Figura 5.1 – Ubicazione in pianta dei sondaggi effettuati nella campagna 2022

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	10 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

Con riferimento al “*Report geognostico*” redatto da Injectosond Italia S.r.l., la campagna di indagini geognostiche ha compreso le seguenti attività:

- Esecuzione di n° 4 sondaggi a carotaggio continuo (S1, S2, S3, S4) spinti fino a profondità di 14,10 m (S1), 12,40 m (S2), 15,00 m (S3) e 30,00 m (S4).;
- Esecuzione di n°20 prove SPT (Standard Penetration Test) in foro;
- Prelievo di n°2 due campioni indisturbati di materiale naturale;
- Prelievo di n°2 due campioni rimaneggiati di materiale naturale;
- Esecuzione di n°2 stese sismiche MASW da 100 m;
- Esecuzione di n°2 prove triassiali su campioni rimaneggiati;
- Esecuzione di n°4 determinazioni granulometriche per setacciatura e sedimentazione.

Per la caratterizzazione stratigrafica del terreno di sottosuolo si fa riferimento al documento “V3-R-05-00 – *Relazione geologica*” redatto dal Dott. Geol. Andrea Daniele, facente parte della presente progettazione esecutiva, e al “*Report geognostico*”, redatto dalla ditta esecutrice dei sondaggi e allegato al presente documento.

Sulla base delle indagini geognostiche effettuate è stato ricostruito un modello geologico che in maniera sintetica può essere rappresentato da 3 livelli:

- Un livello superficiale di riporto e riempimento molto eterogeneo prevalentemente granulare sciolto o moderatamente costituito da alternanze discontinue di livelli di ghiaia limosa.
- Un livello di sabbia limosa/argillosa.
- Un livello di base rappresentato dal substrato roccioso alterato e fratturato costituito da una breccia parzialmente cementata con clasti di calcare marnoso riferibili alla formazione dei Calcari del M. Antola.

Ai fini dei calcoli si è fatto riferimento alla stratigrafia rilevata dai sondaggi S2, S3 e S4.

Per la determinazione dei parametri geomeccanici si è fatto riferimento ai risultati delle prove SPT con i quali è possibile valutare l'angolo di resistenza al taglio o angolo di attrito interno ( $\phi$ ) e la densità relativa ( $D_r$ ) per i terreni di riporto e per i depositi alluvionali marini.

Nella correlazione tra  $N_{spt}$  e angolo di attrito interno sono state utilizzate le seguenti formule, tratte dalla bibliografia tecnica:

- Road Bridge Specification
- Japanese National Railway
- Owasaki & Iwasaki.

Per la determinazione della densità relativa sono state impiegate le seguenti metodologie, tratte dalla bibliografia tecnica:

- Gibbs & Holtz
- Schultze & Mezembach
- Skempton.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	11 di 42

Committente	Progetto
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

Nelle tabelle seguenti sono riportati i risultati ottenuti applicando le suddette correlazioni.

### Strato 1

Sondaggio	Profondità (m)	Nspt	Dr (%)	$\phi$ (°)
S1	6.00	39	96.83	40
S3	3.00	25	102.98	35
	6.00	28	82.25	37

Tabella 5-1: risultati angoli di attrito strato 1

### Strato 2

Profondità (m)	Nspt	Dr (%)	$\phi$ (°)
7.00	1.58	18.50	23
8.00	4.08	27.99	25
9.00	6.59	33.79	27
10.00	9.09	37.95	28
11.00	11.59	41.16	30
12.00	14.09	43.73	31
13.00	16.59	45.86	32
14.00	19.10	47.66	33
15.00	21.60	49.21	34
16.00	24.10	50.56	35
17.00	26.60	51.76	36
18.00	29.10	52.82	37
19.00	31.60	53.77	38
20.00	34.11	54.64	39
21.00	36.61	55.42	39
22.00	39.11	56.15	40
23.00	41.61	56.81	41
24.00	44.11	57.42	42
25.00	46.62	57.99	43
26.00	49.12	58.53	43
27.00	51.62	59.02	44
28.00	54.12	59.49	45
29.00	56.62	59.93	46
30.00	59.13	60.35	46

Tabella 5-2: risultati angoli di attrito strato 1

Con riferimento alle tabelle sopra riportate, per la determinazione delle spinte agenti si considerano i seguenti parametri geomeccanici caratteristici cautelativi, utilizzati alla base delle calcolazioni:

#### Strato 1 (fino alla profondità di -6,0 m dal piano di campagna)

- Peso di volume saturo:  $\gamma_{t1} = 19,0 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito caratteristico:  $\phi_{t1} = 35^\circ$
- Coesione caratteristica:  $c'_{t1} = 0,0 \text{ kN/m}^2$

Codice	Titolo elaborato	Pagina
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	12 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

**Strato 2** (presente solamente per il molo Langano, fino alla profondità di -30,0 m)

Si considera l'angolo di attrito medio alle profondità di -7,00 ÷ -8,00 m

- Peso di volume naturale:  $\gamma_{t2} = 19,8 \text{ kN/m}^3$
- Angolo di attrito caratteristico:  $\phi_{t2} = 24^\circ$
- Coesione caratteristica:  $c'_{t2} = 2,7 \text{ kN/m}^2$   
(si trascura prudenzialmente nel calcolo delle spinte)

Per la determinazione delle spinte agenti sulla parete interna del cunicolo si considera prudenzialmente un angolo di attrito terreno/parte in calcestruzzo  $\delta_{t1}$  pari a  $2/3 \phi_{t1}$ . Per la determinazione delle altre spinte si considera, invece, un angolo di attrito terreno/opera  $\delta_{ti}$  pari a  $\phi_{ti}$ .

Il coefficiente di spinta attiva è determinato mediante la formula seguente e vale:

$$K = \frac{\text{sen}^2(\psi + \phi'_i)}{\text{sen}^2\psi \cdot \text{sen}(\psi - \delta_i) \cdot \left[ 1 + \sqrt{\frac{\text{sen}(\phi'_i + \delta_i) \cdot \text{sen}(\phi'_i - \beta)}{\text{sen}(\psi - \delta_i) \cdot \text{sen}(\psi + \beta)}} \right]^2}$$

- Strato 1 -  $\delta_{t1} = 2/3\phi_{t1}$   $k_{A,1.1} = 0,244$
- Strato 1 -  $\delta_{t1} = \phi_{t1}$   $k_{A,1.2} = 0,300$
- Strato 2  $k_{A,2} = 0,368$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	13 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 6 EFFETTI SISMICI

Di seguito si riportano i parametri sismici utilizzati per le verifiche in campo sismico delle banchine in accordo con il documento "V3-R05-00 – Relazione geologica".

### Caratteristiche del sito:

- Latitudine (WGS84) 44.344370, °
- Longitudine (WGS84) 9.231507°
- Classe d'uso III
- Coeff. d'uso  $C_u = 1,0$
- Vita nominale  $V_N = 50$

### Parametri sismici:

- Periodo di riferimento  $V_r = 50$  anni
- Categoria di sottosuolo B
- Categoria topografica T1
- Coefficiente di amplificazione topografico  $S_T = 1,00$
- Coefficiente di amplificazione stratigrafico  $S_S = 1,20$
- Coefficiente  $S = S_T \times S_S$   $S = 1,20$
- Verifiche agli stati limite ultimo (scorrimento e capacità portante)  $\beta_m = 0,38$
- Verifiche agli stati limite ultimo (ribaltamento)  $\beta_m = 0,57$

	Prob.di superamento	$T_r$ [anni]	$a_g/g$	$F_0$	$T_c^*$ [s]	$a_{max}$ [m/s <sup>2</sup> ]
<b>S.L.O.</b>	81%	30	0,030	2,507	0,202	0,358
<b>S.L.D.</b>	63%	50	0,037	2,553	0,219	0,441
<b>S.L.V.</b>	10%	475	0,089	2,529	0,286	1,048
<b>S.L.C.</b>	5%	975	0,118	2,480	0,292	1,386

Tabella 6-1: Parametri sismici caratteristici per gli stati limite ultimi e di esercizio

Le verifiche sono state eseguite allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita; i valori dei coefficienti sismici da utilizzare nell'analisi pseudo-statica eseguita mediante i metodi dell'equilibrio limite sono i seguenti:

### Verifiche a scorrimento e capacità portante

- Coefficiente sismico orizzontale  $k_h = 0,0406$
- Coefficiente sismico verticale  $k_v = 0,0203$

### Verifiche a ribaltamento

- Coefficiente sismico orizzontale  $k_h = 0,0609$
- Coefficiente sismico verticale  $k_v = 0,0305$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	14 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 7 CARICHI AGENTI

Le banchine del piazzale e del molo Langano sono soggette, oltre alla spinta del terreno a tergo, al sovraccarico stradale e al tiro orizzontale delle bitte.

### 7.1 Spinta del terreno

La spinta del terreno viene determinato all'interno dei capitoli dedicati per ciascuna opera di sostegno.

Con riferimento al *capitolo 5* del presente documento, per la determinazione delle componenti di spinta orizzontali e verticali si considera un angolo di attrito terreno-opera  $\delta$  pari a  $2/3\phi$  e un coefficiente di spinta attivo  $k_A$  pari a:

### 7.2 Sovraccarico variabile stradale

Si considera un sovraccarico variabile stradale  $Q_1$ , dovuto al traffico veicolare e al transito dei mezzi di lavoro, prudenzialmente assunto pari a  $20,0 \text{ kN/m}^2$ .

### 7.3 Tiro delle bitte

Lungo entrambe le banchine oggetto delle calcolazioni saranno installate bitte con capacità di 10 t, 20 t e 30 t con passo variabile in funzione della lunghezza delle imbarcazioni che servono.

Le verifiche di sicurezza delle opere sono prudenzialmente effettuate considerando la capacità massima delle bitte, sebbene dai calcoli riportati nell'elaborato progettuale "V3-R-08-00 - Dimensionamento dei sistemi di ormeggio" il valore di tiro di progetto per i vari ormeggi sia sempre inferiore alla capacità nominale della bitta. Nella tabella seguente, in funzione del loro interasse minimo, sono riportate le forze orizzontali a metro lineare di banchina dovute alle bitte.

Bitta	Tiro [kN]	i [m]	Tiro / m [kN/m]
10 t	100	6,50	15,38
<b>20 t</b>	<b>200</b>	<b>6,50</b>	<b>30,77</b>
30 t	300	13,00	23,08

Tabella 7-1: Tiro a metro lineare bitte

Con riferimento alla tabella sopra riportata, il tiro massimo delle bitte è stato ottenuto per le bitte da 20 t installate con un interasse minimo di 6,50 m (lungo il piazzale). Le verifiche sono pertanto condotte considerando cautelativamente la seguente azione orizzontale:

$$F_{H,Ed} = 30,77 \text{ kN/m}$$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	15 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 8 COMBINAZIONI DI CARICO

Secondo le prescrizioni di cui al *paragrafo 2.5.3* del D.M. 17.01.2018, ai fini delle verifiche agli stati limite delle opere, si utilizza la seguente combinazione delle azioni statica:

$$\sum_i \gamma_{Gi} \times G_i + \gamma_{Q1} \times Q_1 + \sum_i \gamma_{Qi} \times \psi_{0i} \times Q_i$$

Dove  $G_i$  e  $Q_i$  indicano rispettivamente i carichi permanenti e i sovraccarichi variabili.

Secondo le prescrizioni di cui al *paragrafo 2.5.3* del D.M. 17.01.2018, ai fini delle verifiche strutturali della banchina, si utilizza la seguente combinazione delle azioni sismica:

$$\sum_i G_i + E + \sum_i \psi_{2i} \times Q_i$$

Con riferimento al *paragrafo 2.6.1* del D.M 17.01.2018 i coefficienti parziali per le azioni nelle combinazioni di carico considerate (A1 e A2) sono riportati nella tabella seguente:

Azione	Coefficiente	A1	A2
Perm. favorevole	$\gamma_G$	1,0	1,0
Perm. sfavorevole		1,3	1,0
Var. favorevole	$\gamma_Q$	0,0	0,0
Var. sfavorevole		1,5	1,3

Tabella 8-1: Coefficienti parziali delle azioni

Le verifiche di sicurezza delle banchine del molo Langanò e del piazzale sono condotte considerando, oltre alla spinta a riposo del terreno presente a tergo, un sovraccarico variabile  $Q_1$  pari a 20,0 kN/m<sup>2</sup> e il tiro delle bitte da presenti lungo le banchine. Ai fini dei calcoli si considera la combinazione di carico peggiore, con il tiro delle bitte come azione dominante per entrambe le banchine. Tenendo conto della destinazione d'uso delle opere si considera un coefficiente di combinazione per il sovraccarico variabile a tergo  $\psi_{01}$  prudenzialmente pari a 0,4.

Le verifiche di sicurezza in campo sismico della banchina in blocchi sono condotte considerando i seguenti coefficienti di combinazione sismica dei sovraccarichi variabili agenti:

- Sovraccarico variabile  $Q_1$ :  $\psi_{21} = 0,4$
- Tiro bitte:  $\psi_{22} = 0,5$

In conformità con il *paragrafo 6.5.3.1.1* delle *N.T.C. 2018* le verifiche geotecniche della banchina sono condotte secondo l'approccio 2 (A1+M1+R3).

Nelle verifiche in campo statico, con riferimento alla *tabella 6.5.1* delle *N.T.C. 2018*, si considerano i seguenti coefficienti di sicurezza  $\gamma_{R3}$ :

- Verifica a ribaltamento:  $\gamma_{R3} = 1,15$
- Verifica a scorrimento:  $\gamma_{R3} = 1,10$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	16 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

- Verifica a capacità portante:

$$\gamma_{R3} = 1,40$$

Nelle verifiche in campo sismico, con riferimento alla *tabella 7.11.III* delle *N.T.C. 2018*, si considerano i seguenti coefficienti di sicurezza  $\gamma_{R3}^*$ :

- Verifica a ribaltamento:
- Verifica a scorrimento:
- Verifica a capacità portante:

$$\gamma_{R3}^* = 1,00$$

$$\gamma_{R3}^* = 1,00$$

$$\gamma_{R3}^* = 1,20$$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	17 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 9 APPROCCIO E SCHEMI DI CALCOLO

In conformità con il progetto di potenziamento delle opere a mare del molo Sud (cfr. “F3-R-06-00-Relazione di calcolo strutture lato banchina”), le verifiche di sicurezza della banchina del molo Langano e del piazzale sono prudenzialmente condotte considerando un innalzamento del livello medio mare all’interno del bacino portuale pari a 0,50 m. Inoltre, le verifiche sono eseguite senza tener prudenzialmente conto del contributo di resistenza fornito dal terreno presente a valle dell’opera.

### 9.1 Banchina molo Langano

Le verifiche di sicurezza della banchina del molo Langano sono condotte a metro lineare di struttura.

Ai fini dei calcoli, oltre alla spinta propria del terreno presente a tergo dell’opera, si considera prudenzialmente l’azione spingente di un sovraccarico variabile pari a 20,0 kN/m<sup>2</sup> e il tiro delle bitte, opportunamente combinati.

Poiché in questa fase progettuale non è ancora certa la collocazione del cunicolo impianti rispetto al cordolo di banchina (collegato o distaccato e distante circa 1,0 m dalla banchina), ai fini dei calcoli si considera prudenzialmente la situazione peggiore in termine di spinte, come da schema riportato di seguito.

Le azioni stabilizzanti consistono essenzialmente nel peso proprio dei blocchi, cordolo di banchina e del cunicolo, oltre che nelle componenti verticali della spinta del terreno e del sovraccarico variabile.

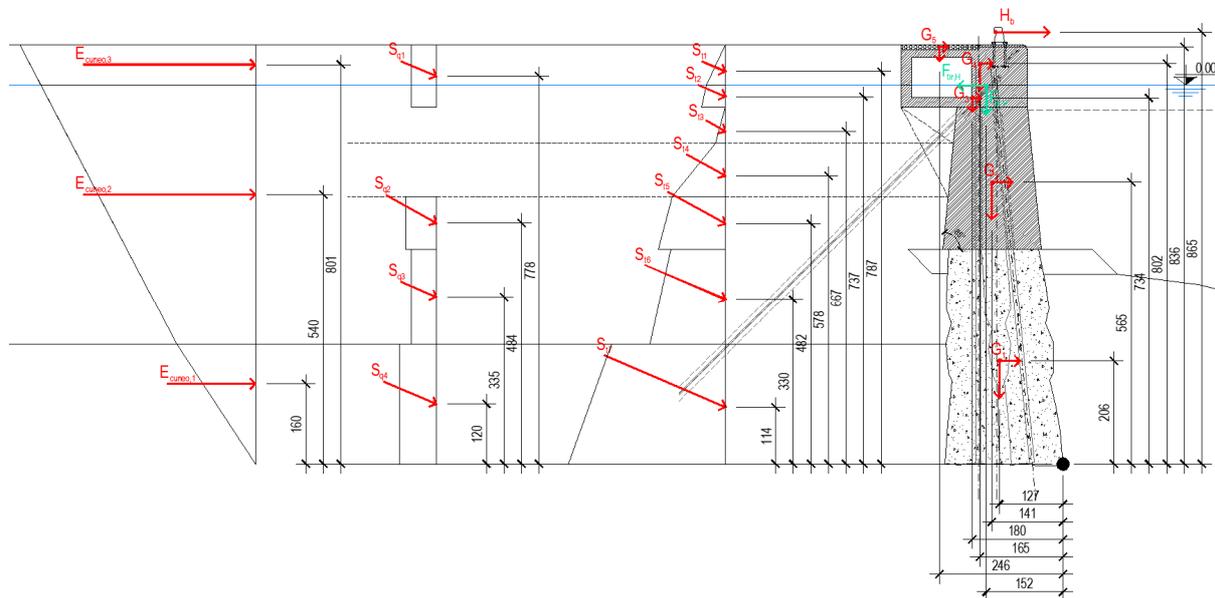


Figura 9.1: Schema di calcolo banchina molo Langano

Con riferimento agli elaborati grafici progettuali, i tiranti a progetto sono previsti realizzati con un’inclinazione di 45°, pertanto le componenti orizzontale e verticale hanno lo stesso valore.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	18 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 9.2 Banchina piazzale

Le verifiche di sicurezza della banchina del piazzale sono condotte a metro lineare di struttura.

Ai fini dei calcoli, oltre alla spinta propria del terreno presente a tergo dell'opera, si considera prudenzialmente l'azione spingente di un sovraccarico variabile pari a  $20,0 \text{ kN/m}^2$  e il tiro delle bitte, opportunamente combinati.

Le azioni stabilizzanti consistono essenzialmente nel peso proprio dei blocchi, cordolo di banchina e del cunicolo, oltre che nelle componenti verticali della spinta del terreno e del sovraccarico variabile.

Nella figura seguente è riportato lo schema di calcolo per le verifiche di sicurezza della banchina del piazzale.

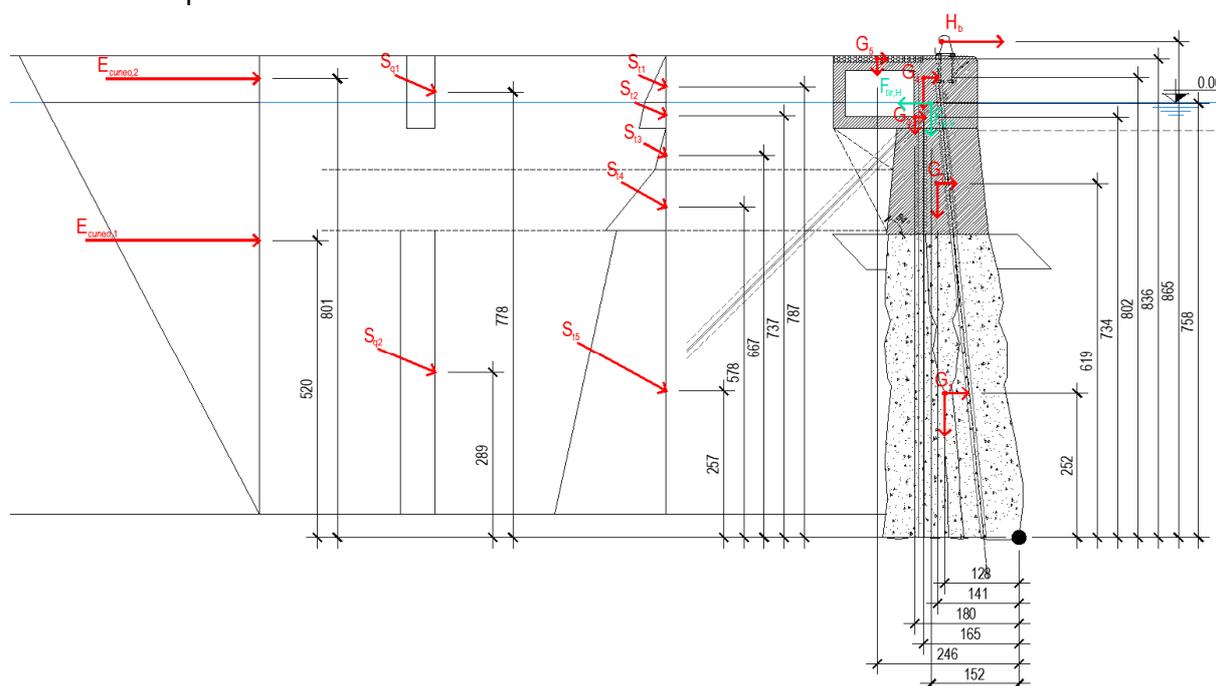


Figura 9.2: Schema di calcolo banchina piazzale

Con riferimento agli elaborati grafici progettuali, i tiranti a progetto sono previsti realizzati con un'inclinazione di  $45^\circ$ , pertanto le componenti orizzontale e verticale hanno lo stesso valore.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	19 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 10 VERIFICHE DI SICUREZZA

### 10.1 Banchina molo Langano

#### 10.1.1 Azioni agenti

Con riferimento alla figura 9.1, di seguito si riportano le azioni agenti sulla banchina nelle combinazioni di carico statico e sismica. Tutte le azioni sono calcolate a metro lineare di banchina.

Per la determinazione dei pesi degli elementi sommersi si considera un peso specifico dell'acqua di mare pari a:

$$\gamma_w = 10,1 \text{ kN/m}^3$$

##### 10.1.1.1 Pesi propri

- $G_1 = (22,0-10,1) \times 8,89 = 105,79 \text{ kN}$   
 $d_{G1} = 1,27 \text{ m}$
- $G_2 = (24,0-10,1) \times 0,5 \times (1,95+1,40) \times 2,84 = 66,12 \text{ kN}$   
 $d_{G2} = 1,41 \text{ m}$
- $G_3 = (25,0-10,1) \times 0,825 = 12,29 \text{ kN}$   
 $d_{G3} = 1,80 \text{ m}$
- $G_4 = 25,0 \times 1,19 = 29,75 \text{ kN}$   
 $d_{G4} = 1,65 \text{ m}$
- $G_5 = 20,0 \times 1,55 \times 0,11 = 3,41 \text{ kN}$   
 $d_{G5} = 2,46 \text{ m}$

##### 10.1.1.2 Spinta attiva del terreno a tergo

#### **Spinta strato 1 su parete cunicolo - terreno emerso**

La pressione orizzontale alla quota del livello medio mare vale ( $h_1 = 0,80 \text{ m}$ ):

$$p_{h1} = k_{A,1.1} \times \gamma_{t1} \times h_1 = 3,71 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t1} = p_{h1} \times h_1 / 2 = 1,48 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = 2/3\phi_{t1} = 23,3^\circ$ ):

- $S_{th1} = S_{t1} \times \cos(\delta_{t1}) = 1,36 \text{ kN}$   
 $h_{t1} = 7,87 \text{ m}$
- $S_{tv1} = S_{t1} \times \sin(\delta_{t1}) = 0,59 \text{ kN}$   
 $d_{t1} = 3,21 \text{ m}$

#### **Spinta strato 1 su parete cunicolo - terreno immerso**

La pressione orizzontale alla quota dell'intradosso della fondazione del cunicolo vale ( $h_2 = 0,45 \text{ m}$ ):

$$p_{h2} = p_{h1} + k_{A,1.1} \times (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times h_2 = 4,69 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	20 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$S_{t2} = (p_{h1} + p_{h2}) \times h_2 / 2 = 1,89 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = 2/3\varphi_{t1} = 23,3^\circ$ ):

- $S_{th2} = S_{t2} \times \cos(\delta_{t1}) = 1,74 \text{ kN}$   
 $h_{t2} = 7,37 \text{ m}$
- $S_{tv2} = S_{t2} \times \sin(\delta_{t1}) = 0,75 \text{ kN}$   
 $d_{t2} = 3,21 \text{ m}$

### **Spinta strato 1 su massa di banchina - terreno immerso – tratto superiore zona d'ombra**

Tenendo conto dell'effetto di "schermatura" dovuto all'aggetto del cunicolo rispetto ai massi di banchina, la pressione orizzontale alla quota della fine del tratto in ombra vale ( $h_3 = 0,72 \text{ m}$ ):

$$p_{h3} = k_{A,1.2} \times (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times h_3 = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t3} = p_{h3} \times h_3 / 2 = 0,69 \text{ kN}$$

Considerando l'inclinazione del paramento interno dei massi di banchina ( $\psi = 84^\circ$ ) Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \varphi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{th3} = S_{t3} \times \cos(90 - \psi + \delta_{t1}) = 0,52 \text{ kN}$   
 $h_{t3} = 6,67 \text{ m}$
- $S_{tv3} = S_{t3} \times \sin(90 - \psi + \delta_{t1}) = 0,45 \text{ kN}$   
 $d_{t3} = 2,16 \text{ m}$

### **Spinta strato 1 su massa di banchina - terreno immerso - tratto inferiore zona d'ombra**

La pressione orizzontale alla quota in cui termina la zona d'ombra vale ( $h_4 = 1,06 \text{ m}$ ):

$$p_{h4} = k_{A,1.2} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4)) = 10,51 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t4} = (p_{h3} + p_{h4}) \times h_4 / 2 = 6,59 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \varphi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{th4} = S_{t4} \times \cos(90 - \psi + \delta_{t1}) = 4,97 \text{ kN}$   
 $h_{t4} = 5,78 \text{ m}$
- $S_{tv4} = S_{t4} \times \sin(\delta_{t1}) = 4,32 \text{ kN}$   
 $d_{t4} = 2,25 \text{ m}$

### **Spinta strato 1 su massa di banchina - terreno immerso – fino a intradosso massa**

La pressione orizzontale alla quota di intradosso del massa di banchina (lato superiore) vale ( $h_5 = 1,07 \text{ m}$ ):

$$p_{h5,sup} = k_{A,1.2} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4 + h_5)) = 13,34 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t5} = (p_{h4} + p_{h5,sup}) \times h_5 / 2 = 12,76 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \varphi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{th5} = S_{t5} \times \cos(90 - \psi + \delta_{t1}) = 9,63 \text{ kN}$   
 $h_{t5} = 4,82 \text{ m}$
- $S_{tv5} = S_{t5} \times \sin(\delta_{t1}) = 8,37 \text{ kN}$   
 $d_{t5} = 2,34 \text{ m}$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	21 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

### **Spinta strato 1 su jet-grouting - terreno immerso - fino a inizio strato 2**

La pressione orizzontale alla quota di intradosso del masso di banchina (lato inferiore), considerando il coefficiente di spinta attiva su parete verticale, vale:

$$p_{h5,inf} = k_{A,1.1} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4 + h_5)) = 10,88 \text{ kN/m}^2$$

La pressione orizzontale alla quota di interfaccia con lo strato 2 (lato superiore) vale ( $h_6 = 1,90 \text{ m}$ ):

$$p_{h6,sup} = k_{A,1.1} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6)) = 15,00 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t6} = (p_{h5,inf} + p_{h6,sup}) \times h_6 / 2 = 24,59 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \phi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{th6} = S_{t6} \times \cos(\delta_{t1}) = 20,14 \text{ kN}$   
 $h_{t6} = 3,30 \text{ m}$
- $S_{tv6} = S_{t6} \times \sin(\delta_{t1}) = 14,10 \text{ kN}$   
 $d_{t6} = 2,29 \text{ m}$

### **Spinta strato 2 su jet-grouting - terreno immerso - fino a base jet-grouting**

La pressione orizzontale alla quota di interfaccia strato 1 – strato 2 (lato inferiore), considerando il coefficiente di spinta attiva dello strato 2, vale:

$$p_{h6,inf} = k_{A,2} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6)) = 22,62 \text{ kN/m}^2$$

La pressione orizzontale alla quota di base dei jet-grouting ( $h_7 = 2,40 \text{ m}$ ), vale:

$$p_{h7} = k_{A,2} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4 + h_5 + h_6 + h_7)) = 31,19 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t6} = (p_{h6,inf} + p_{h7}) \times h_7 / 2 = 64,57 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t2} = \phi_{t2} = 24^\circ$ ):

- $S_{th7} = S_{t7} \times \cos(\delta_{t2}) = 58,99 \text{ kN}$   
 $h_{t7} = 1,14 \text{ m}$
- $S_{tv7} = S_{t7} \times \sin(\delta_{t2}) = 26,26 \text{ kN}$   
 $d_{t7} = 2,32 \text{ m}$

#### *10.1.1.3 Spinta del sovraccarico variabile*

Il sovraccarico variabile agente a tergo dell'opera viene assunto prudenzialmente pari a  $20,0 \text{ kN/m}^2$ .

### **Spinta sovraccarico - strato 1 su parete cunicolo**

Per la determinazione delle componenti di spinta orizzontali e verticali si considera un angolo di attrito terreno-opera  $\delta_{t1}$  pari a  $2/3\phi_{t1}$ .

La pressione orizzontale dovuta al sovraccarico variabile vale:

$$p_{hQ1} = k_{A,1.1} \times Q_1 = 4,88 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale, considerando l'altezza fino all'intradosso del cunicolo ( $h_{q1} = 1,25 \text{ m}$ ), è pari a:

$$S_{Q1} = p_{hQ1} \times h_{q1} = 6,10 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = 2/3\phi_{t1} = 23,3^\circ$ ):

- $S_{hQ1} = S_{Q1} \times \cos(\delta_{t1}) = 5,60 \text{ kN}$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	22 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$h_{Q1} = 7,78 \text{ m}$$

- $S_{vQ1} = S_{Q1} \times \text{sen}(\delta_{t1}) = 2,41 \text{ kN}$
- $d_{Q1} = 3,21 \text{ m}$

### **Spinta sovraccarico - strato 1 su masso di banchina**

Per la determinazione delle componenti di spinta orizzontali e verticali si considera un angolo di attrito terreno-jet-grouting  $\delta_{t1}$  pari a  $\phi_{t1}$ .

La pressione orizzontale dovuta al sovraccarico variabile vale:

$$p_{hQ2} = k_{A,1.2} \times Q_1 = 6,00 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale, considerando l'altezza fino alla quota di intradosso del masso di banchina ( $h_{q2} = 1,07$ ), è pari a:

$$S_{Q2} = p_{hQ2} \times h_{q2} = 6,42 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \phi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{hQ2} = S_{Q2} \times \text{cos}(\delta_{t1} + (90 - \psi)) = 4,85 \text{ kN}$   
 $h_{Q2} = 4,84 \text{ m}$
- $S_{vQ2} = S_{Q2} \times \text{sen}(\delta_{t1}) = 4,21 \text{ kN}$   
 $d_{Q2} = 2,34 \text{ m}$

### **Spinta sovraccarico - strato 1 su jet grouting**

Per la determinazione delle componenti di spinta orizzontali e verticali si considera un angolo di attrito terreno-jet-grouting  $\delta_{t1}$  pari a  $\phi_{t1}$ .

La pressione orizzontale dovuta al sovraccarico variabile vale:

$$p_{hQ3} = k_{A,1.1} \times Q_1 = 4,88 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale, considerando l'altezza fino all'interfaccia con lo strato 2 ( $h_{q3} = 1,90 \text{ m}$ ), è pari a:

$$S_{Q3} = p_{hQ3} \times h_{q3} = 9,27 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \phi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{hQ3} = S_{Q3} \times \text{cos}(\delta_{t1}) = 7,59 \text{ kN}$   
 $h_{Q3} = 3,35 \text{ m}$
- $S_{vQ3} = S_{Q3} \times \text{sen}(\delta_{t1}) = 5,32 \text{ kN}$   
 $d_{Q3} = 2,29 \text{ m}$

### **Spinta sovraccarico - strato 2 su jet grouting**

Per la determinazione delle componenti di spinta orizzontali e verticali si considera un angolo di attrito terreno-jet-grouting  $\delta_{t2}$  pari a  $\phi_{t2}$ .

La pressione orizzontale dovuta al sovraccarico variabile vale:

$$p_{hQ4} = k_{A,2} \times Q_1 = 7,36 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale, considerando l'altezza fino alla quota di base dei jet-grouting ( $h_{q4} = 2,40 \text{ m}$ ), è pari a:

$$S_{Q4} = p_{hQ4} \times h_{q4} = 17,66 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t2} = \phi_{t2} = 24^\circ$ ):

- $S_{hQ4} = S_{Q4} \times \text{cos}(\delta_{t2}) = 16,13 \text{ kN}$   
 $h_{Q4} = 1,20 \text{ m}$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	23 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

-  $S_{vQ4} = S_{Q4} \times \text{sen}(\delta_{t2}) = 7,18 \text{ kN}$   
 $d_{Q4} = 2,32 \text{ m}$

#### 10.1.1.4 Tiro delle bitte

Con riferimento al *paragrafo 7.3* del presente documento, sulla sommità della banchina, a un'altezza di 25 cm dalla sommità della banchina stessa (e pertanto a un'altezza di 8,65 m dal polo di rotazione), si considera un tiro orizzontale massimo delle bitte da 30 t pari a:  
 $F_H = 30,77 \text{ kN/m}$

Tale forza è applicata a un'altezza  $h_{FH}$  pari a:  $h_{FH} = 8,65 \text{ m}$

#### 10.1.1.5 Incrementi di spinta sismici

#### Verifica a scorrimento e a capacità portante ( $k_h = 0,0406 - k_v = \pm 0,0203$ )

- $E_{1h} = G_1 \times k_h = 4,30 \text{ kN}$   
 $h_{E1} = 2,06 \text{ m}$   
 $E_{1v} = G_1 \times k_v = \pm 2,15 \text{ kN}$   
 $d_{E1} = 1,27 \text{ m}$
- $E_{2h} = G_2 \times k_h = 2,68 \text{ kN}$   
 $h_{E2} = 5,65 \text{ m}$   
 $E_{2v} = G_2 \times k_v = \pm 1,34 \text{ kN}$   
 $d_{E2} = 1,41 \text{ m}$
- $E_{3h} = G_3 \times k_h = 0,50 \text{ kN}$   
 $h_{E3} = 7,34 \text{ m}$   
 $E_{3v} = G_3 \times k_v = \pm 0,25 \text{ kN}$   
 $d_{E3} = 1,80 \text{ m}$
- $E_{4h} = G_4 \times k_h = 1,21 \text{ kN}$   
 $h_{E4} = 8,02 \text{ m}$   
 $E_{4v} = G_4 \times k_v = \pm 0,61 \text{ kN}$   
 $d_{E4} = 1,65 \text{ m}$
- $E_{5h} = G_5 \times k_h = 0,14 \text{ kN}$   
 $h_{E5} = 8,36 \text{ m}$   
 $E_{5v} = G_5 \times k_v = \pm 0,07 \text{ kN}$   
 $d_{E5} = 2,46 \text{ m}$
- Il volume del cono di spinta immerso (strato 2) a metro lineare di lunghezza vale:  
 $V_{\text{cono},1} = 1,87 \text{ m}^3$   
Il peso del cono di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:  
 $G_{\text{cono},1} = 18,14 \text{ kN}$   
 $E_{\text{cono},1} = 0,74 \text{ kN}$   
 $h_{E\text{cono},1} = 1,60 \text{ m}$
- Il volume del cono di spinta immerso (strato 1) a metro lineare di lunghezza vale:  
 $V_{\text{cono},2} = 15,14 \text{ m}^3$   
Il peso del cono di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:  
 $G_{\text{cono},2} = 134,75 \text{ kN}$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	24 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$E_{\text{cuneo},2} = 5,47 \text{ kN}$$

$$h_{E_{\text{cuneo},2}} = 5,40 \text{ m}$$

- Il volume del cuneo di spinta emerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$V_{\text{cuneo},3} = 3,58 \text{ m}^3$$

Il peso del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$G_{\text{cuneo},3} = 68,02 \text{ kN}$$

$$E_{\text{cuneo},3} = 2,76 \text{ kN}$$

$$h_{E_{\text{cuneo},3}} = 8,01 \text{ m}$$

### Verifica a ribaltamento ( $k_h = 0,0609 - k_v = \pm 0,0305$ )

- $E_{1h} = G_1 \times k_h = 6,44 \text{ kN}$   
 $h_{E1} = 2,06 \text{ m}$   
 $E_{1v} = G_1 \times k_v = \pm 3,22 \text{ kN}$   
 $d_{E1} = 1,27 \text{ m}$
- $E_{2h} = G_2 \times k_h = 4,03 \text{ kN}$   
 $h_{E2} = 5,65 \text{ m}$   
 $E_{2v} = G_2 \times k_v = \pm 2,02 \text{ kN}$   
 $d_{E2} = 1,41 \text{ m}$
- $E_{3h} = G_3 \times k_h = 0,75 \text{ kN}$   
 $h_{E3} = 7,34 \text{ m}$   
 $E_{3v} = G_3 \times k_v = \pm 0,38 \text{ kN}$   
 $d_{E3} = 1,80 \text{ m}$
- $E_{4h} = G_4 \times k_h = 1,81 \text{ kN}$   
 $h_{E4} = 8,02 \text{ m}$   
 $E_{4v} = G_4 \times k_v = \pm 0,91 \text{ kN}$   
 $d_{E4} = 1,65 \text{ m}$
- $E_{5h} = G_5 \times k_h = 0,21 \text{ kN}$   
 $h_{E5} = 8,36 \text{ m}$   
 $E_{5v} = G_5 \times k_v = \pm 0,11 \text{ kN}$   
 $d_{E5} = 2,46 \text{ m}$
- Il volume del cuneo di spinta immerso (strato 2) a metro lineare di lunghezza vale:  
 $V_{\text{cuneo},1} = 1,87 \text{ m}^3$   
Il peso del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:  
 $G_{\text{cuneo},1} = 18,14 \text{ kN}$   
 $E_{\text{cuneo},1} = 1,10 \text{ kN}$   
 $h_{E_{\text{cuneo},1}} = 1,60 \text{ m}$
- Il volume del cuneo di spinta immerso (strato 1) a metro lineare di lunghezza vale:  
 $V_{\text{cuneo},2} = 15,14 \text{ m}^3$   
Il peso del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:  
 $G_{\text{cuneo},2} = 134,75 \text{ kN}$   
 $E_{\text{cuneo},2} = 8,21 \text{ kN}$   
 $h_{E_{\text{cuneo},2}} = 5,40 \text{ m}$
- Il volume del cuneo di spinta emerso a metro lineare di lunghezza vale:  
 $V_{\text{cuneo},3} = 3,58 \text{ m}^3$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	25 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

Il peso del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$G_{\text{cuneo},3} = 68,02 \text{ kN}$$

$$E_{\text{cuneo},3} = 4,14 \text{ kN}$$

$$h_{E_{\text{cuneo},3}} = 8,01 \text{ m}$$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	26 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 10.1.2 Verifiche geotecniche

### 10.1.2.1 Verifiche a ribaltamento

#### Analisi statica

Il momento stabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Rd} = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h} \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v} \times d_{Ftir,v} =$$

$$= 501,26 \text{ kNm} + F_{tir,h} \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v} \times d_{Ftir,v}$$

Il momento instabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Ed} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \gamma_Q \times (\psi_{01} \times S_{hQi} \times h_{Qi} + F_H \times h_{FH}) = 753,15 \text{ kNm}$$

Il momento instabilizzante è maggiore del momento stabilizzante dovuto ai soli pesi propri e alle componenti verticali delle spinte, pertanto si rende necessario l'inserimento di tiranti. Per la determinazione delle azioni minime agenti nei tiranti si impone il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

$$\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,150$$

Risolviendo l'equazione si ottiene:

$$1,15 \times M_{Ed} = 866,12 \text{ kNm} \rightarrow F_{tir,h} = F_{tir,v} = 40,08 \text{ kN}$$

#### Analisi sismica

Il momento stabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Rd}^* = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \psi_{21} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h}^* \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v}^* \times d_{Ftir,v} =$$

$$= 453,99 \text{ kNm} + F_{tir,h}^* \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v}^* \times d_{Ftir,v}$$

Il momento instabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Ed}^* = \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \psi_{21} \times S_{hQ1} \times h_{Q1} + \psi_{22} \times F_H \times h_{FH} + \sum_i E_{ih} \times d_{Ei} + \sum_i E_{iv} \times h_{Ei} = 536,50 \text{ kNm}$$

Il momento instabilizzante è maggiore del momento stabilizzante dovuto ai soli pesi propri e alle componenti verticali delle spinte, pertanto si rende necessario l'inserimento di tiranti. Per la determinazione delle azioni minime agenti nei tiranti si impone il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

$$\frac{M_{Rd}^*}{M_{Ed}^*} = 1,000$$

Risolviendo l'equazione si ottiene:

$$F_{tir,h}^* = F_{tir,v}^* = 2,68 \text{ kN}$$

### 10.1.2.2 Verifiche a scorrimento

#### Analisi statica

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	27 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

La forza stabilizzante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Rd} = \left( \sum_i G_i + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQ1} + F_{tir,v} \right) \times \tan(\phi_2) = (300,16 + F_{tir,v}) \times \tan(\phi_{t2})$$

La forza traslante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Ed} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} + \gamma_Q \times \left( \psi_{01} \times \sum_i S_{hQ1} + F_h \times h_{FH} \right) - F_{tir,h} = 187,20 \text{ kN} - F_{tir,h}$$

La forza traslante è maggiore della forza stabilizzante stabilizzante dovuta ai soli pesi propri e alle componenti verticali delle spinte, pertanto si rende necessario l'inserimento di tiranti. Per la determinazione delle azioni minime agenti nei tiranti si impone il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

$$\frac{H_{Rd}}{H_{Ed}} = 1,100$$

Risolviendo l'equazione si ottiene:

$$F_{tir,h} = F_{tir,v} = 46,78 \text{ kN}$$

### Analisi sismica

La forza stabilizzante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Rd}^* = \left( \sum_i G_i + \sum_i S_{tvi} + \psi_{21} \times S_{vQ1} + \sum_i E_{iv} + F_{tir,v}^* \right) \times \tan(\phi_2) = (275,45 + F_{tir,v}^*) \times \tan(\phi_{t2})$$

La forza traslante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Ed}^* = \sum_i S_{thi} + \psi_{21} \times S_{hQ1} + \psi_{22} \times H_{Q2} + \sum_i E_{ih} - F_{tir,h}^* = 315,86 \text{ kN}$$

La forza traslante è maggiore della forza stabilizzante stabilizzante dovuta ai soli pesi propri e alle componenti verticali delle spinte, pertanto si rende necessario l'inserimento di tiranti. Per la determinazione delle azioni minime agenti nei tiranti si impone il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

$$\frac{H_{Rd}^*}{H_{Ed}^*} = 1,000$$

Risolviendo l'equazione si ottiene:

$$F_{tir,h}^* = F_{tir,v}^* = 33,61 \text{ kN}$$

#### 10.1.2.3 Verifiche a capacità portante del terreno di fondazione

Le verifiche vengono condotte considerando i parametri geomeccanici dello strato 2, senza tener prudenzialmente conto della coesione efficace.

### Analisi statica

- Valore di progetto delle forze verticali:

$$N_{Ed} = \sum_i G_i + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} + \gamma_Q \times S_{vQ1} + F_{tir,v} = 300,16 \text{ kN} + F_{tir,v}$$

- Valore di progetto delle forze orizzontali:

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	28 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$H_{Ed} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} + \gamma_Q \times (\psi_{01} \times \sum_i S_{hQi} + F_H) - F_{tir,h} = 187,20 \text{ kN} - F_{tir,v}$$

- Valore di progetto dei momenti ribaltanti:

$$M_{Rib} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \gamma_Q \times (\psi_{01} \times S_{hQi} \times h_{Qi} + F_H \times h_{FH}) = 753,15 \text{ kNm}$$

- Valore di progetto dei momenti stabilizzanti:

$$M_{Stab} = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h} \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v} \times d_{Ftir,v} = 501,26 \text{ kNm} + F_{tir,h} \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v} \times d_{Ftir,v}$$

La distanza della risultante sullo spigolo anteriore è calcolata mediante la formula seguente:

$$d = \frac{M_{Stab} - M_{Rib}}{N_{Ed}}$$

L'eccentricità della risultante è quindi pari a:  $e = \frac{B}{2} - d$

La pressione massima allo spigolo anteriore vale:

$$q_{Ed,max} = \frac{N_{Ed}}{B' \times L} + \frac{6 \times (N_{Ed} \times e)}{B'^2 \times L} \text{ in caso di sezione interamente reagente}$$

$$q_{Ed,max} = 2 \times \frac{N_{Ed}}{B' \times L} \text{ in caso di sezione parzializzata}$$

La pressione media agente alla base vale:

$$\overline{q_{Ed}} = \frac{q_{Ed,max}}{2}$$

La pressione resistente viene ottenuta utilizzando la formula generale di Brinch-Hansen:

$$q_{Rd,d} = c' N_c \psi_c s_c d_c i_c + q N_q \psi_q s_q d_q i_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \psi_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Dove:

- |  |  |
|--|--|
| - Peso di volume caratteristico                  | $\gamma = 9,70 \text{ m}$  |
| - Angolo di attrito caratteristico               | $\phi = 24^\circ$  |
| - Coesione caratteristica                        | $c' = 0,00 \text{ kN/m}^2$   |
| - Peso medio del terreno sul piano di posa       | $q = 23,28 \text{ kN/m}^2$   |
| - Larghezza efficace fondazione (calcolata)      | $B' = 2,35 \text{ m}$  |
| - Lunghezza efficace fondazione                  | $L = 1,00 \text{ m}$   |
| - Profondità fondazione dal piano di campagna    | $D = 2,40 \text{ m}$   |
| - Fattori di capacità portante                   | $N_c = 19,323 \text{ (Hansen)}$<br>$N_q = 9,603 \text{ (Hansen)}$<br>$N_\gamma = 9,442 \text{ (Vesic')}$ |
| - Fattori di profondità                          | $d_c = 1,409$<br>$d_q = 1,320$<br>$d_\gamma = 1,000$   |
| - Fattori di inclinazione del carico (calcolati) | $i_c = 0,269$<br>$i_q = 0,345$<br>$i_\gamma = 0,203$   |

Senza il contributo fornito dai tiranti, la verifica a capacità portante non sarebbe soddisfatta. Poiché i tiranti sono previsti realizzati con un'inclinazione di  $45^\circ$ , le componenti orizzontale e verticale hanno lo stesso valore. Tali componenti vengono determinate imponendo il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	29 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$q_{Rd} = 1,4 \times q_{Ed}$$

Risolvendo l'equazione si ottiene:

$$F_{tir,h} = F_{tir,v} = 66,88 \text{ kN}$$

### Analisi sismica

- Valore di progetto delle forze verticali:

$$N_{Ed}^* = \sum_i G_i + \sum_i S_{tvi} + \psi_{21} \times S_{vQ1} - \sum_i E_{iv} + F_{tir,v} = 275,45 \text{ kN} + F_{tir,v}$$

- Valore di progetto delle forze orizzontali:

$$H_{Ed}^* = \sum_i S_{thi} + \psi_{21} \times S_{hQ1} + \psi_{22} \times F_H + \sum_i E_{ih} - F_{tir,f} = 137,54 \text{ kN} - F_{tir,h}$$

- Valore di progetto dei momenti ribaltanti:

$$M_{Rib}^* = \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \psi_{21} \times S_{hQ1} \times h_{Q1} + \psi_{22} \times F_H \times h_{FH} + \sum_i E_{ih} \times d_{Ei} + \sum_i E_{iv} \times h_{Ei} = 487,67 \text{ kNm}$$

- Valore di progetto dei momenti stabilizzanti:

$$M_{Stab}^* = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h}^* \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v}^* \times d_{Ftir,v} = 453,99 \text{ kNm} + F_{tir,h}^* \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v}^* \times d_{Ftir,v}$$

La distanza della risultante sullo spigolo anteriore vale:  $d = \frac{M_{Stab}^* - M_{Rib}^*}{N_{Ed}^*}$

L'eccentricità della risultante è quindi pari a:  $e = \frac{B}{2} - d$

La pressione massima allo spigolo anteriore vale:

$$q_{Ed,max}^* = \frac{N_{Ed}^*}{B' \times L} + \frac{6 \times (N_{Ed}^* \times e)}{B'^2 \times L} \text{ in caso di sezione interamente reagente}$$

$$q_{Ed,max}^* = 2 \times \frac{N_{Ed}^*}{B' \times L} \text{ in caso di sezione parzializzata}$$

La pressione resistente viene ottenuta utilizzando la formula generale di Brinch-Hansen:

$$q_{Rd,d} = c' N_c \psi_c s_c d_c i_c + q N_q \psi_q s_q d_q i_q + 0,5 \gamma B N_\gamma \psi_\gamma s_\gamma d_\gamma i_\gamma$$

Dove:

- |  |                                  |
|--|----------------------------------|
| - Peso di volume caratteristico                  | γ = 9,70 m                       |
| - Angolo di attrito caratteristico               | φ = 24°                          |
| - Coesione caratteristica                        | c' = 0,00 kN/m <sup>2</sup>      |
| - Peso medio del terreno sul piano di posa       | q = 23,28 kN/m <sup>2</sup>      |
| - Larghezza efficace fondazione (calcolata)      | B' = 2,35 m                      |
| - Lunghezza efficace fondazione                  | L = 1,00 m                       |
| - Profondità fondazione dal piano di campagna    | D = 2,40 m                       |
| - Fattori di capacità portante                   | N <sub>c</sub> = 19,323 (Hansen) |
|  | N <sub>q</sub> = 9,603 (Hansen)  |
|  | N <sub>γ</sub> = 9,442 (Vesic)   |
| - Fattori di profondità                          | d <sub>c</sub> = 1,409           |
|  | d <sub>q</sub> = 1,320           |
|  | d <sub>γ</sub> = 1,000           |
| - Fattori di inclinazione del carico (calcolati) | i <sub>c</sub> = 0,355           |

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	30 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$i_q^* = 0,422$$

$$i_v^* = 0,274$$

Senza il contributo fornito dai tiranti, la verifica a capacità portante non sarebbe soddisfatta. Poiché i tiranti sono previsti realizzati con un'inclinazione di 45°, le componenti orizzontale e verticale hanno lo stesso valore. Tali componenti vengono determinate imponendo il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

$$q_{Rd}^* = 1,4 \times q_{Ed}^*$$

Risolvendo l'equazione si ottiene:

$$F_{tir,h} = F_{tir,v} = 30,44 \text{ kN}$$

#### 10.1.2.4 Verifica a sfilamento dell'ancoraggio

Con riferimento ai risultati ottenuti nei paragrafi precedenti, nella tabella seguente sono riportati i valori di componenti orizzontali e verticali minimi forniti dai tiranti affinché siano soddisfatte le verifiche geotecniche.

<b>Verifica</b>	<b>CC statica</b>	<b>CC sismica</b>
Verifica a ribaltamento	40,08 kN/m	2,68 kN/m
Verifica a scorrimento	46,78 kN/m	33,61 kN/m
Verifica a capacità portante	<b>66,88 kN/m</b>	30,44 kN/m

Tabella 10-1: Sintesi componenti orizzontale e verticale agenti nei tiranti

Le massime componenti orizzontale e verticale sono state ottenute per la verifica a capacità portante, nella combinazione di carico statica. Tale valore è pari a:

$$F_{tir,h} = F_{tir,v} = 66,88 \text{ kN/m}$$

I tiranti sono previsti realizzati con un'inclinazione di 45° e sono previsti posizionati con un interasse  $i$  di 5,0 m-. Il tiro assiale massimo totale agente in ciascun tirante vle:

$$F_{tir,Ed} = i \times \sqrt{F_{tir,h}^2 + F_{tir,v}^2} = 472,91 \text{ kN}$$

I tiranti attraversano il primo strato di terreno e si sviluppano nello strato 2, senza incontrare il substrato roccioso.

La verifica a sfilamento della fondazione del tirante è effettuata ai sensi del par. 6.6.2 delle NTC 2018 con riferimento alla combinazione statica A1+M1+R3, con R3 = 1,2 poiché trattasi di tiranti permanenti.

La resistenza allo sfilamento della fondazione è calcolata con la seguente formula:

$$R_{a,c} = \alpha \times \pi \times D_T \times \sum_i \bar{q}_i \times L_{bi} \times \tan(\phi_i) + \alpha \times \pi \times D_T \times \sum_i c_{ai} \times L_{bi} = 1.063,76 \text{ kN}$$

Per i calcoli di verifica si assumono i seguenti dati:

- Coefficiente  $\alpha$  (iniezione IRS)  $\alpha = 1,4$
- Diametro di perforazione  $D_T = 0,200 \text{ m}$
- Lunghezza bulbo di ancoraggio nello strato 1  $L_{b1} = 2,00 \text{ m}$
- Lunghezza bulbo di ancoraggio nello strato 2  $L_{b2} = 15,60 \text{ m}$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	31 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

- |   |                                     |
|---|-------------------------------------|
| - Angolo di attrito medio strato 1                        | $\phi_{\tau 1} = 35^\circ$          |
| - Angolo di attrito medio strato 2 (profondità di 11,0 m) | $\phi_{\tau 2, m} = 30^\circ$       |
| - Pressione verticale media strato 1                      | $\bar{q}_1 = 55,16 \text{ kN/m}^2$  |
| - Pressione verticale media strato 2                      | $\bar{q}_2 = 121,95 \text{ kN/m}^2$ |
| - Adesione strato 1                                       | $c_{a1} = 0,00 \text{ kN/m}^2$      |
| - Adesione strato 2 ( $c_{a,12} = 0,8 \times c'_{12}$ )   | $c_{a2} = 2,16 \text{ kN/m}^2$      |

Per la determinazione delle caratteristiche geotecniche del suolo di fondazione si considerano 2 profili di indagine, pertanto il valore della resistenza caratteristica allo sfilamento risulta:

$$R_{ak} = \frac{R_{a,c}}{1,75} = 607,86 \text{ kN}$$

Infine, per tiranti permanenti, il valore della resistenza di progetto allo sfilamento è determinato:

$$R_{ad} = \frac{R_{a,k}}{1,20} = 506,55 \text{ kN}$$

Si esegue quindi la verifica:

$$\frac{F_{tir,Ed}}{R_{ad}} \leq 1 \rightarrow \frac{472,91}{506,55} = 0,934 < 1$$

**La verifica è soddisfatta**

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	32 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 10.2 Banchina piazzale

### 10.2.1 Azioni agenti

Con riferimento alla figura 9.2, di seguito si riportano le azioni agenti sulla banchina nelle combinazioni di carico statico e sismica. Tutte le azioni sono calcolate a metro lineare di banchina.

Per la determinazione dei pesi degli elementi sommersi si considera un peso specifico dell'acqua di mare pari a:

$$\gamma_w = 10,1 \text{ kN/m}^3$$

#### 10.2.1.1 Pesi propri

- $G_1 = (22,0 - 10,1) \times 10,84 = 129,00 \text{ kN}$   
 $d_{G1} = 1,28 \text{ m}$
- $G_2 = (24,0 - 10,1) \times 0,5 \times (1,76 + 1,40) \times 1,85 = 40,63 \text{ kN}$   
 $d_{G2} = 1,41 \text{ m}$
- $G_3 = (25,0 - 10,1) \times 0,825 = 12,29 \text{ kN}$   
 $d_{G3} = 1,80 \text{ m}$
- $G_4 = 25,0 \times 1,19 = 29,75 \text{ kN}$   
 $d_{G4} = 1,65 \text{ m}$
- $G_5 = 20,0 \times 1,55 \times 0,11 = 3,41 \text{ kN}$   
 $d_{G5} = 2,46 \text{ m}$

#### 10.2.1.2 Spinta attiva del terreno a tergo

##### **Spinta strato 1 su parete cunicolo - terreno emerso**

La pressione orizzontale alla quota del livello medio mare vale ( $h_1 = 0,80 \text{ m}$ ):

$$p_{h1} = k_{A,1.1} \times \gamma_{t1} \times h_1 = 3,71 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t1} = p_{h1} \times h_1 / 2 = 1,48 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = 2/3\varphi_{t1} = 23,3^\circ$ ):

$$- S_{th1} = S_{t1} \times \cos(\delta_{t1}) = 1,36 \text{ kN}$$

$$h_{t1} = 7,87 \text{ m}$$

$$- S_{tv1} = S_{t1} \times \sin(\delta_{t1}) = 0,59 \text{ kN}$$

$$d_{t1} = 3,21 \text{ m}$$

##### **Spinta strato 1 su parete cunicolo - terreno immerso**

La pressione orizzontale alla quota dell'intradosso della fondazione del cunicolo vale ( $h_2 = 0,45 \text{ m}$ ):

$$p_{h2} = p_{h1} + k_{A,1.1} \times (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times h_2 = 4,69 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t2} = (p_{h1} + p_{h2}) \times h_2 / 2 = 1,89 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = 2/3\varphi_{t1} = 23,3^\circ$ ):

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	33 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

- $S_{th2} = S_{t2} \times \cos(\delta_{t1}) = 1,74 \text{ kN}$   
 $h_{t2} = 7,37 \text{ m}$
- $S_{tv2} = S_{t2} \times \sin(\delta_{t1}) = 0,75 \text{ kN}$   
 $d_{t2} = 3,21 \text{ m}$

### **Spinta strato 1 su masso di banchina - terreno immerso – tratto superiore zona d'ombra**

Tenendo conto dell'effetto di "schermatura" dovuto all'aggetto del cunicolo rispetto ai massi di banchina, la pressione orizzontale alla quota della fine del tratto in ombra vale ( $h_3 = 0,72 \text{ m}$ ):

$$p_{h3} = k_{A,1.2} \times (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times h_3 = 1,92 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t3} = p_{h3} \times h_3 / 2 = 0,69 \text{ kN}$$

Considerando l'inclinazione del paramento interno dei massi di banchina ( $\psi = 84^\circ$ ) Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \varphi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{th3} = S_{t3} \times \cos(90 - \psi + \delta_{t1}) = 0,52 \text{ kN}$   
 $h_{t3} = 6,67 \text{ m}$
- $S_{tv3} = S_{t3} \times \sin(90 - \psi + \delta_{t1}) = 0,45 \text{ kN}$   
 $d_{t3} = 2,16 \text{ m}$

### **Spinta strato 1 su masso di banchina - terreno immerso - tratto inferiore zona d'ombra**

La pressione orizzontale alla quota in cui termina la zona d'ombra vale ( $h_4 = 1,06 \text{ m}$ ):

$$p_{h4,sup} = k_{A,1.2} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4)) = 10,51 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t4} = (p_{h3} + p_{h4}) \times h_4 / 2 = 6,59 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \varphi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{th4} = S_{t4} \times \cos(90 - \psi + \delta_{t1}) = 4,97 \text{ kN}$   
 $h_{t4} = 5,78 \text{ m}$
- $S_{tv4} = S_{t4} \times \sin(\delta_{t1}) = 4,32 \text{ kN}$   
 $d_{t4} = 2,25 \text{ m}$

### **Spinta strato 1 su jet-grouting - terreno immerso**

La pressione orizzontale alla quota in cui termina la zona d'ombra, considerando il coefficiente di spinta attiva su parete verticale, vale ( $h_4 = 1,06 \text{ m}$ ):

$$p_{h4,inf} = k_{A,1.1} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4)) = 8,55 \text{ kN/m}^2$$

La pressione orizzontale alla quota del substrato roccioso vale ( $h_5 = 4,97 \text{ m}$ ):

$$p_{h5} = k_{A,1.1} \times (\gamma_{t1} \times h_1 + (\gamma_{t1} - \gamma_w) \times (h_2 + h_3 + h_4 + h_5)) = 19,34 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale è pari a:

$$S_{t5} = (p_{h4,inf} + p_{h5}) \times h_5 / 2 = 69,30 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \varphi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{th5} = S_{t5} \times \cos(\delta_{t1}) = 56,77 \text{ kN}$   
 $h_{t5} = 2,57 \text{ m}$
- $S_{tv5} = S_{t5} \times \sin(\delta_{t1}) = 39,75 \text{ kN}$   
 $d_{t5} = 2,31 \text{ m}$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	34 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

### 10.2.1.3 Spinta del sovraccarico variabile

Il sovraccarico variabile agente a tergo dell'opera viene assunto prudenzialmente pari a 20,0 kN/m<sup>2</sup>.

#### **Spinta strato 1 su parete cunicolo**

Per la determinazione delle componenti di spinta orizzontali e verticali si considera un angolo di attrito terreno-opera  $\delta_{t1}$  pari a  $2/3\phi_{t1}$ .

La pressione orizzontale dovuta al sovraccarico variabile vale:

$$p_{hQ1} = k_{A,1.1} \times Q_1 = 4,88 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale, considerando l'altezza fino all'intradosso del cunicolo ( $h_{q1} = 1,25 \text{ m}$ ), è pari a:

$$S_{Q1} = p_{hQ1} \times h_{q1} = 6,10 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = 2/3\phi_{t1} = 23,3^\circ$ ):

- $S_{hQ1} = S_{Q1} \times \cos(\delta_{t1}) = 5,60 \text{ kN}$   
 $h_{Q1} = 7,78 \text{ m}$
- $S_{vQ1} = S_{Q1} \times \sin(\delta_{t1}) = 2,41 \text{ kN}$   
 $d_{Q1} = 3,21 \text{ m}$

#### **Spinta strato 1 su jet grouting**

Per la determinazione delle componenti di spinta orizzontali e verticali si considera un angolo di attrito terreno-jet-grouting  $\delta_{t1}$  pari a  $\phi_{t1}$ .

La pressione orizzontale dovuta al sovraccarico variabile vale:

$$p_{hQ2} = k_{A,1.1} \times Q_1 = 4,88 \text{ kN/m}^2$$

La spinta totale, considerando l'altezza fino al substrato roccioso ( $h_{q1} = 4,97 \text{ m}$ ), è pari a:

$$S_{Q2} = p_{hQ2} \times h_{q2} = 24,25 \text{ kN}$$

Le componenti orizzontali e verticali valgono ( $\delta_{t1} = \phi_{t1} = 35^\circ$ ):

- $S_{hQ2} = S_{Q2} \times \cos(\delta_{t1}) = 19,87 \text{ kN}$   
 $h_{Q2} = 2,89 \text{ m}$
- $S_{vQ2} = S_{Q2} \times \sin(\delta_{t1}) = 13,91 \text{ kN}$   
 $d_{Q2} = 2,31 \text{ m}$

### 10.2.1.4 Tiro delle bitte

Con riferimento al *paragrafo 7.3* del presente documento, sulla sommità della banchina, a un'altezza di 25 cm dalla sommità della banchina stessa (e pertanto a un'altezza di 8,65 m dal polo di rotazione), si considera un tiro orizzontale massimo delle bitte da 30 t pari a:

$$F_{H,Ed} = 30,77 \text{ kN/m}$$

Tale forza è applicata a un'altezza  $h_{FH}$  pari a:  $h_{FH} = 8,65 \text{ m}$

### 10.2.1.5 Incrementi di spinta sismici

#### **Verifica a scorrimento e a capacità portante ( $k_h = 0,0406 - k_v = \pm 0,0203$ )**

- $E_{1h} = G_1 \times k_h = 5,24 \text{ kN}$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	35 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$h_{E1} = 2,52 \text{ m}$$

$$E_{1v} = G_1 \times k_v = \pm 2,62 \text{ kN}$$

$$d_{E1} = 1,28 \text{ m}$$

- $E_{2h} = G_2 \times k_h = 1,65 \text{ kN}$

$$h_{E2} = 6,19 \text{ m}$$

$$E_{2v} = G_2 \times k_v = \pm 0,83 \text{ kN}$$

$$d_{E2} = 1,41 \text{ m}$$

- $E_{3h} = G_3 \times k_h = 0,50 \text{ kN}$

$$h_{E3} = 7,34 \text{ m}$$

$$E_{3v} = G_3 \times k_v = \pm 0,25 \text{ kN}$$

$$d_{E3} = 1,80 \text{ m}$$

- $E_{4h} = G_4 \times k_h = 1,21 \text{ kN}$

$$h_{E4} = 8,02 \text{ m}$$

$$E_{4v} = G_4 \times k_v = \pm 0,61 \text{ kN}$$

$$d_{E4} = 1,65 \text{ m}$$

- $E_{5h} = G_5 \times k_h = 0,14 \text{ kN}$

$$h_{E5} = 8,36 \text{ m}$$

$$E_{5v} = G_5 \times k_v = \pm 0,07 \text{ kN}$$

$$d_{E5} = 2,46 \text{ m}$$

- Il volume del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$V_{\text{cuneo},1} = 13,48 \text{ m}^3$$

- Il peso del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$G_{\text{cuneo},1} = 119,97 \text{ kN}$$

$$E_{\text{cuneo},1} = 4,87 \text{ kN}$$

$$h_{E_{\text{cuneo},1}} = 5,20 \text{ m}$$

- Il volume del cuneo di spinta emerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$V_{\text{cuneo},2} = 3,18 \text{ m}^3$$

- Il peso del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$G_{\text{cuneo},2} = 60,42 \text{ kN}$$

$$E_{\text{cuneo},2} = 2,45 \text{ kN}$$

$$h_{E_{\text{cuneo},2}} = 8,01 \text{ m}$$

### Verifica a ribaltamento ( $k_h = 0,0609 - k_v = \pm 0,0305$ )

- $E_{1h} = G_1 \times k_h = 7,86 \text{ kN}$

$$h_{E1} = 2,52 \text{ m}$$

$$E_{1v} = G_1 \times k_v = \pm 3,93 \text{ kN}$$

$$d_{E1} = 1,28 \text{ m}$$

- $E_{2h} = G_2 \times k_h = 2,47 \text{ kN}$

$$h_{E2} = 6,19 \text{ m}$$

$$E_{2v} = G_2 \times k_v = \pm 1,24 \text{ kN}$$

$$d_{E2} = 1,41 \text{ m}$$

- $E_{3h} = G_3 \times k_h = 0,75 \text{ kN}$

$$h_{E3} = 7,34 \text{ m}$$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	36 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$E_{3v} = G_3 \times k_v = \pm 0,38 \text{ kN}$$

$$d_{E3} = 1,80 \text{ m}$$

- $E_{4h} = G_4 \times k_h = 1,81 \text{ kN}$

$$h_{E4} = 8,02 \text{ m}$$

$$E_{4v} = G_4 \times k_v = \pm 0,91 \text{ kN}$$

$$d_{E4} = 1,65 \text{ m}$$

- $E_{5h} = G_5 \times k_h = 0,21 \text{ kN}$

$$h_{E5} = 8,36 \text{ m}$$

$$E_{5v} = G_5 \times k_v = \pm 0,11 \text{ kN}$$

$$d_{E5} = 2,46 \text{ m}$$

- Il volume del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$V_{\text{cuneo},1} = 16,57 \text{ m}^3$$

- Il peso del cuneo di spinta immerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$G_{\text{cuneo},1} = 147,47 \text{ kN}$$

$$E_{\text{cuneo},1} = 7,31 \text{ kN}$$

$$h_{E_{\text{cuneo},1}} = 5,20 \text{ m}$$

- Il volume del cuneo di spinta emerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$V_{\text{cuneo},2} = 3,18 \text{ m}^3$$

- Il peso del cuneo di spinta emerso a metro lineare di lunghezza vale:

$$G_{\text{cuneo},2} = 60,42 \text{ kN}$$

$$E_{\text{cuneo},2} = 3,68 \text{ kN}$$

$$h_{E_{\text{cuneo},2}} = 8,01 \text{ m}$$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	37 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

## 10.2.2 Verifiche geotecniche

### 10.2.2.1 Verifiche a ribaltamento

#### Analisi statica

Il momento stabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Rd} = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h} \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v} \times d_{Ftir,v} =$$

$$= 464,87 \text{ kNm} + F_{tir,h} \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v} \times d_{Ftir,v}$$

Il momento instabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Ed} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \gamma_Q \times (\psi_{01} \times S_{hQi} \times h_{Qi} + F_H \times h_{FH}) = 717,15 \text{ kNm}$$

Il momento instabilizzante è maggiore del momento stabilizzante dovuto ai soli pesi propri e alle componenti verticali delle spinte, pertanto si rende necessario l'inserimento di tiranti. Per la determinazione delle azioni minime agenti nei tiranti si impone il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

$$\frac{M_{Rd}}{M_{Ed}} = 1,150$$

Risolvendo l'equazione si ottiene:

$$1,15 \times M_{Ed} = 824,72 \text{ kNm} \rightarrow F_{tir,h} = F_{tir,v} = 39,52 \text{ kN}$$

#### Analisi sismica

Il momento stabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Rd}^* = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \psi_{21} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h}^* \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v}^* \times d_{Ftir,v} =$$

$$= 424,74 \text{ kNm} + F_{tir,h}^* \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v}^* \times d_{Ftir,v}$$

Il momento instabilizzante è ottenuto mediante la formula seguente:

$$M_{Ed}^* = \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \psi_{21} \times S_{hQ1} \times h_{Q1} + \psi_{22} \times F_H \times h_{FH} + \sum_i E_{ih} \times d_{Ei} + \sum_i E_{iv} \times h_{Ei} = 504,95 \text{ kNm}$$

Il momento instabilizzante è maggiore del momento stabilizzante dovuto ai soli pesi propri e alle componenti verticali delle spinte, pertanto si rende necessario l'inserimento di tiranti. Per la determinazione delle azioni minime agenti nei tiranti si impone il raggiungimento del coefficiente minimo di sicurezza come segue:

$$\frac{M_{Rd}^*}{M_{Ed}^*} = 1,000$$

Risolvendo l'equazione si ottiene:

$$F_{tir,h}^* = F_{tir,v}^* = 8,81 \text{ kN}$$

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	38 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

### 10.2.2.2 Verifiche a scorrimento

#### **Analisi statica**

La forza stabilizzante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Rd} = \left( \sum_i G_i + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQ1} + F_{tir,v} \right) \times f = 199,16 \text{ kN} + F_{tir,v} \times \tan(\phi_{t2})$$

Con  $f = 0,7$

La forza traslante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Ed} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} + \gamma_Q \times \left( \psi_{01} \times \sum_i S_{hQ1} + F_h \times h_{FH} \right) - F_{tir,h} = 145,57 \text{ kN} - F_{tir,h}$$

La verifica è soddisfatta anche senza tener conto del contributo fornito dai tiranti:

$$\frac{H_{Rd}}{H_{Ed}} = 1,368 = 1,100$$

**La verifica è soddisfatta**

#### **Analisi sismica**

La forza stabilizzante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Rd}^* = \left( \sum_i G_i + \sum_i S_{tvi} + \psi_{21} \times S_{vQ1} + \sum_i E_{iv} + F_{tir,v}^* \right) \times \tan(\phi_2) = 184,17 \text{ kN} + F_{tir,v}^* \times \tan(\phi_{t2})$$

La forza traslante è ottenuta mediante la formula seguente:

$$H_{Ed}^* = \sum_i S_{thi} + \psi_{21} \times S_{hQ1} + \psi_{22} \times H_{Q2} + \sum_i E_{ih} - F_{tir,h}^* = 106,35 \text{ kN} - F_{tir,h}^*$$

La verifica è soddisfatta anche senza tener conto del contributo fornito dai tiranti:

$$\frac{H_{Rd}^*}{H_{Ed}^*} = 1,732 = 1,000$$

**La verifica è soddisfatta**

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	39 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

### 10.2.2.3 Verifiche a capacità portante del terreno di fondazione

I jet-grouting andranno a intestarsi direttamente all'interno del substrato roccioso. Per la determinazione della massima pressione al suolo si considera il tiro massimo agente nei tiranti, desunto dalle verifiche riportate ai paragrafi precedenti:

$$F_{tir,h} = F_{tir,v} = 39,52 \text{ kN} \quad \text{CC statica}$$

$$F_{tir,h}^* = F_{tir,v}^* = 0,00 \text{ kN} \quad \text{CC sismica}$$

#### Analisi statica

- Valore di progetto delle forze verticali:

$$N_{Ed} = \sum_i G_i + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} + \gamma_Q \times S_{vQ1} + F_{tir,v} = 324,04 \text{ kN}$$

- Valore di progetto delle forze orizzontali:

$$H_{Ed} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} + \gamma_Q \times (\psi_{01} \times \sum_i S_{hQ1} + F_H \times h_{FH}) - F_{tir,h} = 145,57 \text{ kN} - F_{tir,h}$$

- Valore di progetto dei momenti ribaltanti:

$$M_{Rib} = \gamma_G \times \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \gamma_Q \times (\psi_{01} \times S_{hQ1} \times h_{Q1} + F_H \times h_{FH}) = 717,15 \text{ kNm}$$

- Valore di progetto dei momenti stabilizzanti:

$$M_{Stab} = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h} \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v} \times d_{Ftir,v} = 824,50 \text{ kNm}$$

La distanza della risultante sullo spigolo anteriore vale:  $d = \frac{M_{Stab} - M_{Rib}}{N_{Ed}} = 0,33 \text{ m}$

L'eccentricità della risultante è quindi pari a:  $e = \frac{B}{2} - d = \frac{2,35}{2} - 0,33 = 0,85 \text{ m} > \frac{B}{6}$

⇒ sezione parzializzata

La larghezza efficace della base vale:  $B' = 3 \times d = 0,99 \text{ m}$

La pressione massima allo spigolo anteriore vale:

$$q_{Ed,max} = 2 \times \frac{N_{Ed}}{B' \times L} = 654,63 \text{ kN/m}^2$$

La pressione media agente alla base vale:

$$\overline{q_{Ed}} = \frac{q_{Ed,max}}{2} = 327,32 \text{ kN/m}^2$$

Tale valore di pressione è significativamente minore dei valori di resistenze a compressione del substrato roccioso, che si aggira almeno intorno ai 20.000 kN/m<sup>2</sup>.

**Si ritiene pertanto la verifica ampiamente soddisfatta**

#### Analisi sismica

- Valore di progetto delle forze verticali:

$$N_{Ed}^* = \sum_i G_i + \sum_i S_{tvi} + \psi_{21} \times S_{vQ1} - \sum_i E_{iv} + F_{tir,v} = 271,91 \text{ kN}$$

- Valore di progetto delle forze orizzontali:

$$H_{Ed}^* = \sum_i S_{thi} + \psi_{21} \times S_{hQ1} + \psi_{22} \times F_H + \sum_i E_{ih} - F_{tir,f} = 97,54 \text{ kN}$$

- Valore di progetto dei momenti ribaltanti:

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	40 di 42

Committente	Progetto
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

$$M_{Rib}^* = \sum_i S_{thi} \times h_{ti} + \psi_{21} \times S_{hQ1} \times h_{Q1} + \psi_{22} \times F_H \times h_{FH} \sum_i E_{ih} \times d_{Ei} + \sum_i E_{iv} \times h_{Ei} = 460,41 \text{ kNm}$$

- Valore di progetto dei momenti stabilizzanti:

$$M_{Stab}^* = \sum_i G_i \times d_{Gi} + \gamma_G \times \sum_i S_{tvi} \times d_{ti} + \gamma_Q \times \psi_{01} \times \sum_i S_{vQi} \times d_{Qi} + F_{tir,h}^* \times h_{Ftir,h} + F_{tir,v}^* \times d_{Ftir,v} = 504,91 \text{ kN}$$

La distanza della risultante sullo spigolo anteriore vale:  $d = \frac{M_{Stab}^* - M_{Rib}^*}{N_{Ed}^*} = 0,17 \text{ m}$

L'eccentricità della risultante è quindi pari a:  $e = \frac{B}{2} - d = \frac{2,35}{2} - 0,17 = 1,01 \text{ m} < \frac{B}{6}$

⇒ sezione parzializzata

La larghezza efficace della base vale:  $B' = 3 \times d = 0,51 \text{ m}$

La pressione massima allo spigolo anteriore vale:

$$q_{Ed,max}^* = 2 \times \frac{N_{Ed}^*}{B' \times L} = 1.066,31 \text{ kN/m}^2$$

La pressione media agente alla base vale:

$$q_{Ed} = \frac{q_{Ed,max}^*}{2} = 533,16 \text{ kN/m}^2$$

Tale valore di pressione è significativamente minore dei valori di resistenze a compressione del substrato roccioso, che si aggira almeno intorno ai 20.000 kN/m<sup>2</sup>.

**Si ritiene pertanto la verifica ampiamente soddisfatta**

#### 10.2.2.4 Verifica a sfilamento dell'ancoraggio

Con riferimento ai risultati ottenuti nei paragrafi precedenti, nella tabella seguente sono riportati i valori di componenti orizzontali e verticali minimi forniti dai tiranti affinché siano soddisfatte le verifiche geotecniche.

Verifica	CC statica	CC sismica
Verifica a ribaltamento	39,52 kN/m	8,81 kN/m
Verifica a scorrimento	0,00 kN/m	0,00 kN/m
Verifica a capacità portante	39,52 kN/m	8,81 kN/m

Tabella 2: Sintesi componenti orizzontale e verticale agenti nei tiranti

Le massime componenti orizzontale e verticale sono state ottenute per la verifica a ribaltamento, nella combinazione di carico statica. Tale valore è pari a:

$$F_{tir,h} = F_{tir,v} = 39,52 \text{ kN/m}$$

I tiranti sono previsti realizzati con un'inclinazione di 45° e sono previsti posizionati con un interasse  $i$  di 5,0 m-. Il tiro assiale massimo totale agente in ciascun tirante vale:

$$F_{tir,Ed} = i \times \sqrt{F_{tir,h}^2 + F_{tir,v}^2} = 279,45 \text{ kN}$$

I tiranti attraversano il primo strato e si ammorsano nel substrato roccioso.

Codice	Titolo elaborato	Pagina
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	41 di 42

<i>Committente</i>	<i>Progetto</i>
Porto Turistico Internazionale di Rapallo S.p.A.	Interventi di miglioramento della sicurezza dello specchio acqueo

La verifica a sfilamento della fondazione del tirante è effettuata ai sensi del *par. 6.6.2* delle NTC 2018 con riferimento alla combinazione statica A1+M1+R3, con R3 = 1,2 poiché trattasi di tiranti permanenti.

Per i calcoli di verifica si assumono i seguenti dati:

- Diametro di perforazione  $D_T = 0,125 \text{ m}$
- Diametro di calcolo  $D'_T = 1,1 \times D_T = 0,1375 \text{ m}$
- Resistenza tangenziale di calcolo allo sfilamento ancoraggio/terreno: poiché il bulbo di ancoraggio di ciascun tirante sarà ancorato nel substrato roccioso che localmente potrebbe presentare fratturazioni, da esperienze in situazioni analoghe si assume:  
 $t = 350 \text{ kPa}$
- Lunghezza del bulbo di ancoraggio  $L_b = 6,00 \text{ m}$

La resistenza allo sfilamento della fondazione è calcolata con la seguente formula:

$$R_{a,c} = \tau \times \pi \times D'_T \times L_b = 907,13 \text{ kN}$$

Per la determinazione delle caratteristiche geotecniche del suolo di fondazione si considerano 2 profili di indagine, pertanto il valore della resistenza caratteristica allo sfilamento risulta:

$$R_{ak} = \frac{R_{a,c}}{1,75} = 518,36 \text{ kN}$$

Infine, per tiranti permanenti, il valore della resistenza di progetto allo sfilamento è determinato:

$$R_{ad} = \frac{R_{a,k}}{1,20} = 431,97 \text{ kN}$$

Si esegue quindi la verifica:

$$\frac{F_{tir,Ed}}{R_{ad}} \leq 1 \rightarrow \frac{279,45}{431,97} = 0,647 < 1$$

**La verifica è soddisfatta**

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-06-00	Relazione geotecnica	42 di 42