

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 DI CALCOLO STRUTTURALE

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

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

Data:	Scala:	Codice interno:
Aprile 2022	-	Codice generale elaborato:
		V3-R-07-00

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

INDICE

1	Premessa	3
2	Riferimenti normativi	4
3	Descrizione degli interventi a progetto.....	5
3.1.1	Rinforzo della banchina del Molo Langanò	5
3.1.2	Rinforzo della banchina piazzale.....	6
4	Caratteristiche dei materiali	8
5	Caratterizzazione geotecnica	9
6	Effetti sismici	10
7	Carichi agenti	11
7.1	Spinta del terreno.....	11
7.2	Sovraccarico variabile stradale.....	11
7.3	Tiro delle bitte	11
8	Combinazioni di carico.....	12
9	Verifiche di sicurezza.....	14
9.1	Modello di calcolo.....	14
9.2	Determinazione delle sollecitazioni	15
9.2.1	Cordolo in c.a.	15
9.2.2	Ancoraggi passivi	16
9.3	Verifiche del cordolo di banchina in c.a.....	17
9.3.1.1	Verifica a momento flettente positivo lungo x ($M_{xx,+}$)	17
9.3.1.2	Verifica a momento flettente negativo lungo x ($M_{xx,-}$)	18
9.3.1.3	Verifica a taglio.....	19
9.4	Verifiche di resistenza degli ancoraggi	20
9.4.1	Verifica a trazione dell'ancoraggio	20

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	1 di 20

<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.....	6
Figura 3.2 – Sezione tipo rinforzo banchina piazzale	7
Figura 9.1: Modello implementato nel software di calcolo.....	14
Figura 9.2: Momento flettente agente lungo l’asse x agente nel cordolo in c.a. (kNm/m)	15
Figura 9.4: Taglio Vx agente nel cordolo in c.a. (kN/m ²)	15
Figura 9.6: Forza normale agente negli ancoraggi passivi (kN).....	16

INDICE DELLE TABELLE

Tabella 6-1: Parametri sismici caratteristici per gli stati limite ultimi e di esercizio	10
Tabella 7-1: Tiro a metro lineare bitte.....	11
Tabella 8-1: Coefficienti parziali delle azioni	12

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	2 di 20

<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 strutturali 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-07-00	Relazione di calcolo strutturale	3 di 20

<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-07-00	Relazione di calcolo strutturale	4 di 20

<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 assorbita 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-07-00	Relazione di calcolo strutturale	5 di 20

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

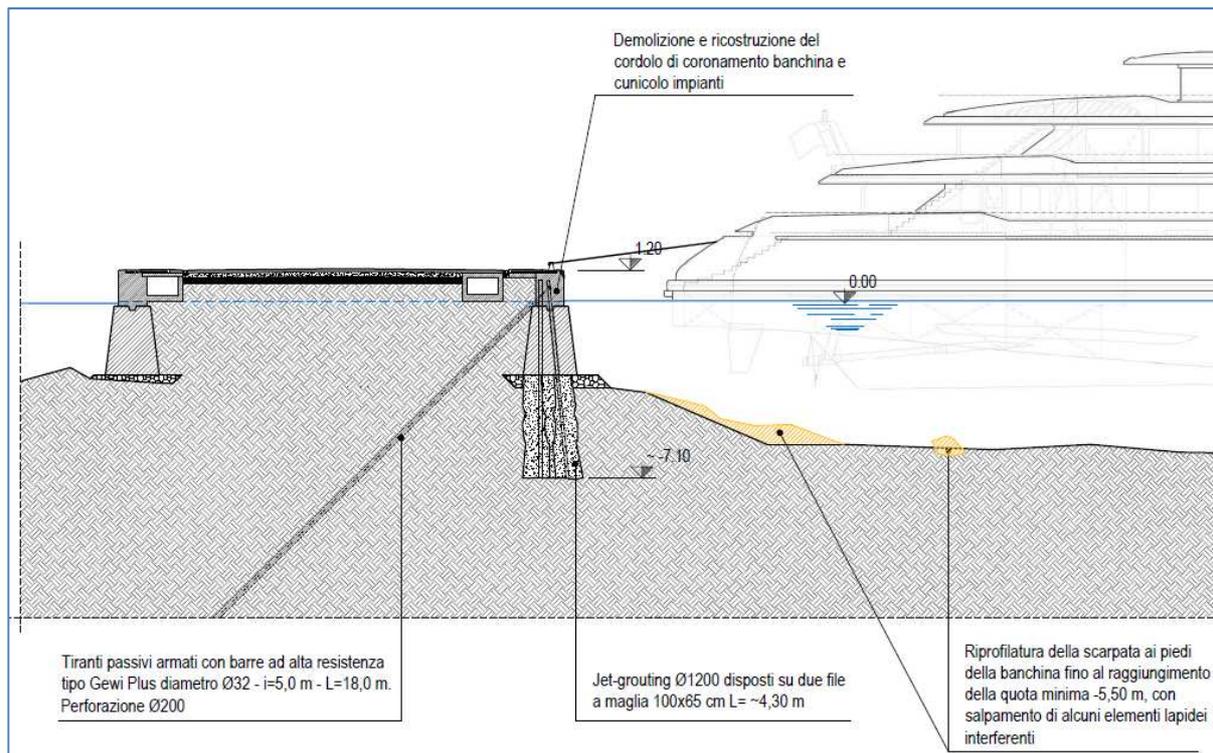


Figura 3.1 – Sezione tipo rinforzo banchina Molo Langano

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 sottomurare, 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-07-00	Relazione di calcolo strutturale	6 di 20

<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.

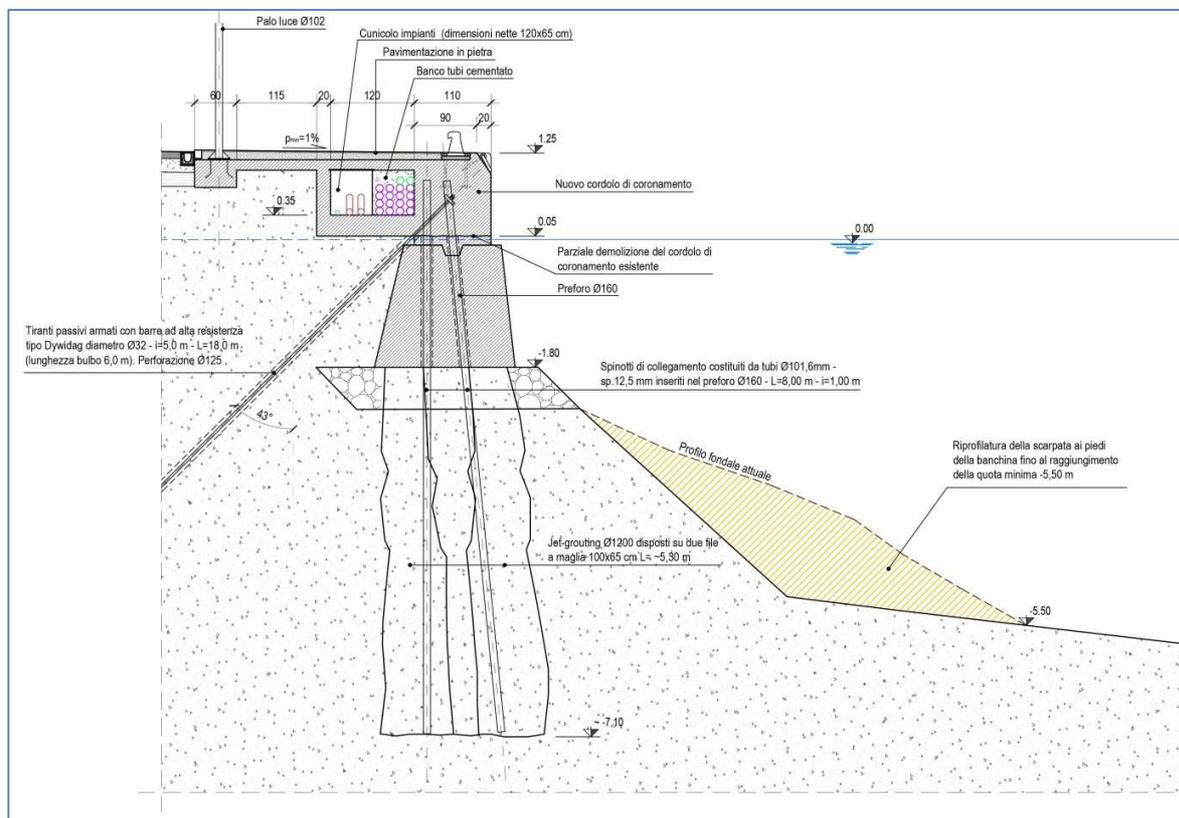


Figura 3.2 – Sezione tipo rinforzo banchina piazzale

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	7 di 20

<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-07-00	Relazione di calcolo strutturale	8 di 20

<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

Con riferimento all'elaborato progettuale "V3-R-06-00-Relazione geotecnica", per la determinazione delle spinte agenti si riassumono qua di seguito i parametri geomeccanici caratteristici, utilizzati per le verifiche geotecniche:

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: $c'_{t1} = 0,0 \text{ kN/m}^2$

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 δ_{t1} pari a $2/3 \phi_{t1}$. Per la determinazione delle altre spinte si considera, invece, un angolo di attrito terreno/opera δ_{ti} pari a ϕ_{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-07-00	Relazione di calcolo strutturale	9 di 20

<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 ²]
S.L.O.	81%	30	0,030	2,507	0,202	0,358
S.L.D.	63%	50	0,037	2,553	0,219	0,441
S.L.V.	10%	475	0,089	2,529	0,286	1,048
S.L.C.	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-07-00	Relazione di calcolo strutturale	10 di 20

<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 δ 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
20 t	200	6,50	30,77
30 t	300	13,00	23,08

Tabella 7-1: Tiro a metro lineare bitte

Sebbene il tiro a metro lineare di banchina sia superiore per le bitte da 20 t, e quindi nelle verifiche geotecniche di cui all'elaborato "V3-R-06-00-Relazione geotecnica" siano state assunte per le verifiche di stabilità generale della banchina, per massimizzare le sollecitazioni del cordolo di coronamento, le bitte da 30 t producono le azioni puntuali maggiori, che nell'ambito delle verifiche del cordolo di testa massimizzano le sollecitazioni.

Nel modello di calcolo verrà preso in considerazione un tratto di banchina comprendente bitte da 30 t. Inoltre, a favore di sicurezza, verrà preso in considerazione un interasse pari a 6,50 m per tener conto delle zone di passaggio tra le bitte da 30 t e da 20 t.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	11 di 20

<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	γ_G	1,0	1,0
Perm. sfavorevole		1,3	1,0
Var. favorevole	γ_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/m² 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 ψ_{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 γ_{R3} :

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	12 di 20

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

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

- Verifica a ribaltamento: $\gamma_{R3}^* = 1,00$
- Verifica a scorrimento: $\gamma_{R3}^* = 1,00$
- Verifica a capacità portante: $\gamma_{R3}^* = 1,20$

Per la determinazione delle sollecitazioni agenti nel cordolo di banchina in c.a. e nei tiranti si considera un coefficiente parziale delle azioni γ_Q prudenzialmente pari a 1,5.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	13 di 20

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

9 VERIFICHE DI SICUREZZA

Nel presente capitolo vengono determinate le sollecitazioni agenti nel cordolo di banchina e nei tiranti passivi, ottenute mediante l'implementazione di un modello semplificato agli elementi finiti, relativo al solo cordolo di coronamento, tiranti e bitte, considerando prudenzialmente un vincolo con la sottostante struttura di banchina costituito dai soli micropali, trascurando il loro contributo alle forze orizzontali. In pratica, l'equilibrio alle azioni orizzontali sulle bitte è dato dalle sole reazioni dei tiranti, massimizzando in questo modo il momento flettente e il taglio nel piano orizzontale del cordolo in c.a..

Nel presente capitolo vengono altresì effettuate le verifiche di resistenza del cordolo in c.a. e dei tiranti nelle sezioni maggiormente sollecitate.

9.1 Modello di calcolo

Il cordolo di coronamento in c.a. intirantato è stato implementato nel software di calcolo "Mastersap TOP 2021 R1.1" che analizza, tramite elaborazione agli elementi finiti, strutture di tipo generico operando su modello tridimensionale.

In seguito all'imputazione dei dati geometrici, delle caratteristiche dei materiali e all'applicazione dei carichi nelle condizioni più gravose, il programma di calcolo ha eseguito un'analisi di tipo statico, secondo la combinazione di carico agli stati limite ultimi che massimizza i tiri orizzontali trasmessi dalle bitte.

Ai fini dei calcoli non si considera la contemporaneità dell'evento sismico e degli eventi estremi che possono provocare il tiro massimo nelle bitte. Pertanto, visti i bassi valori delle masse inerziali in gioco, si ritiene superfluo eseguire verifiche anche in campo sismico.

Il cordolo in c.a. è stato implementato con elementi bidimensionali "shell", i tiranti passivi come "aste reticolari" (in grado fornire resistenza esclusivamente assiali) lunghe 5,0 m e inclinati a 45°, mentre i micropali come vincoli a momento e a traslazione verticale (lungo l'asse z).

Nella figura seguente è riportata una vista del modello implementato nel software di calcolo.

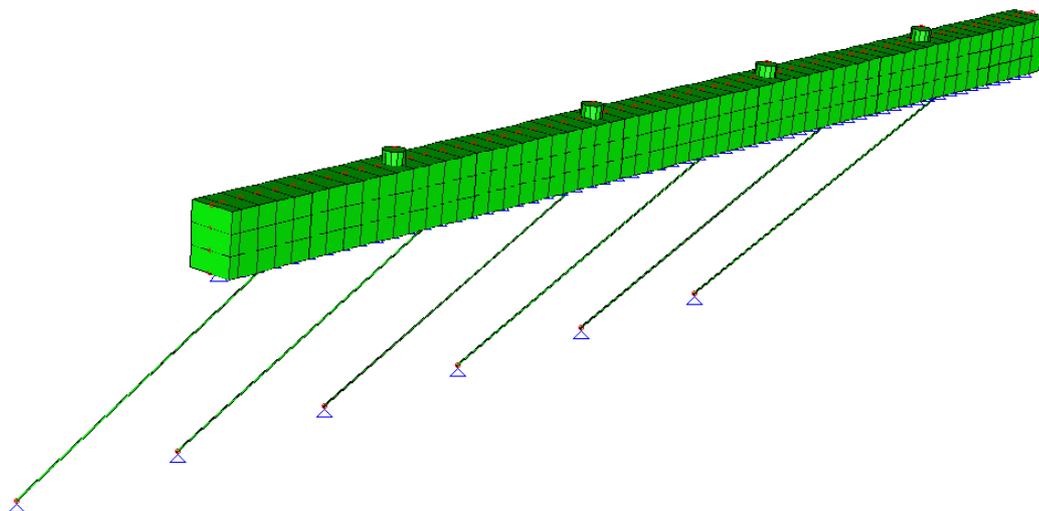


Figura 9.1: Modello implementato nel software di calcolo

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	14 di 20

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

9.2 Determinazione delle sollecitazioni

Nelle figure seguenti sono riportati i grafici delle sollecitazioni agenti nel cordolo in c.a. e nei tiranti passivi.

9.2.1 Cordolo in c.a.

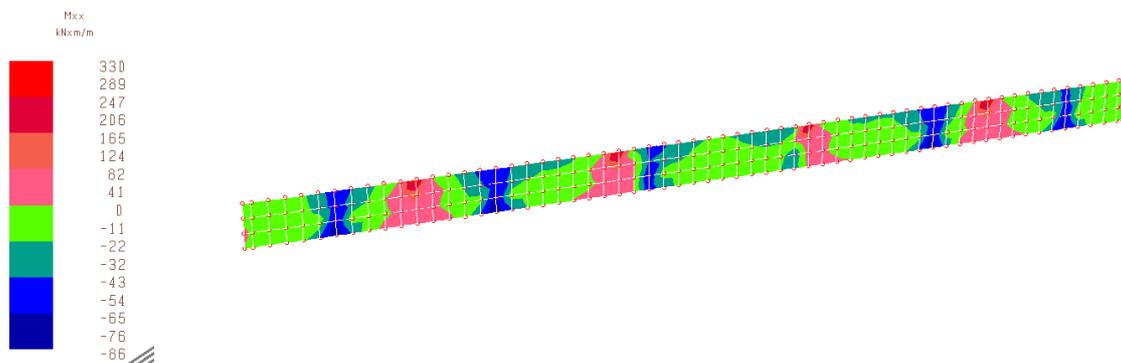


Figura 9.2: Momento flettente agente lungo l'asse x agente nel cordolo in c.a. (kNm/m)

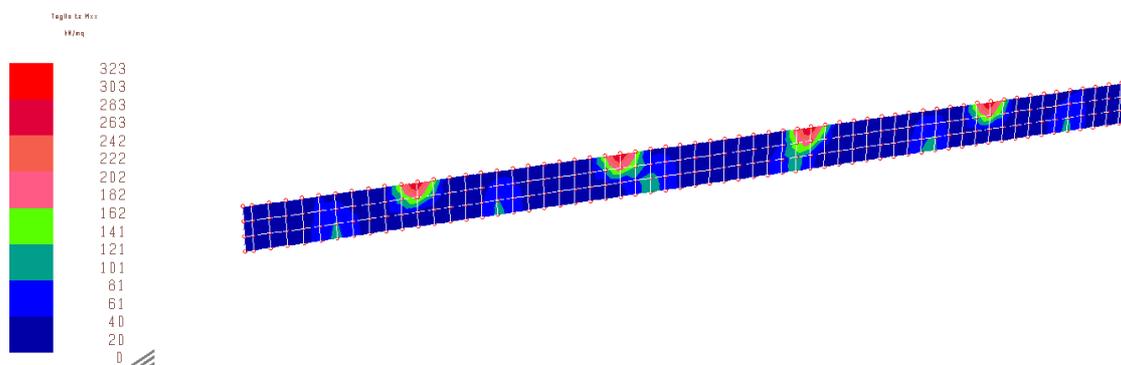


Figura 9.3: Taglio Vx agente nel cordolo in c.a. (kN/m²)

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	15 di 20

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

Con riferimento alle figure sopra riportate, sono stati ottenuti i seguenti valori massimi di momento flettente e taglio agenti.

Tutte le sollecitazioni massime sono state ottenute nella combinazione di carico CC1 e valgono:

$$M_{xx,+} = 330,00 \text{ kNm/m}$$

$$M_{xx,-} = -86,00 \text{ kNm/m}$$

$$V_x = 323,00 \text{ kN/m}^2$$

9.2.2 Ancoraggi passivi

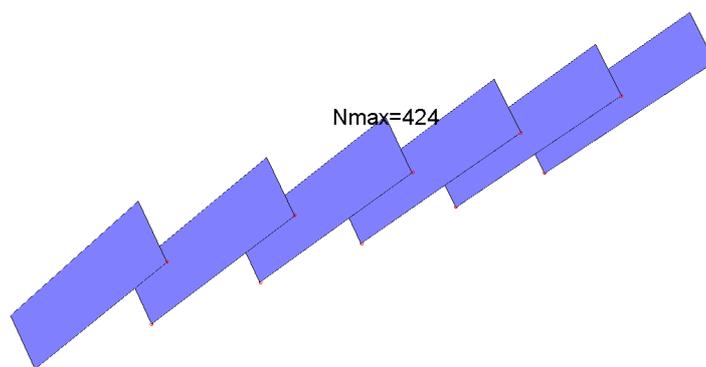


Figura 9.4: Forza normale agente negli ancoraggi passivi (kN)

Il tiro massimo agente negli ancoraggi passivi vale:

$$N_{\max} = 424,00 \text{ kN}$$

Di seguito si riporta il valore di tiro massimo agente negli ancoraggi passivi ottenuto a seguito delle verifiche geotecniche contenute nell'elaborato "V3-R-06-00-Relazione geotecnica" (cfr. paragrafo 10.1.4):

$$F_{\text{tir,Ed}} = 472,91 \text{ kN} > N_{\max} = 424,00 \text{ kN}$$

Tale valore è coerente con quanto risulta dalle modellazioni geotecniche, ciò a dimostrazione che il modello utilizzato, seppur con le semplificazioni assunte per le condizioni al contorno, è valido.

Poiché il valore ottenuto per il soddisfacimento delle verifiche geotecniche è maggiore di quello ottenuto nell'analisi della sola banchina di coronamento in c.a., le verifiche di resistenza degli ancoraggi sono condotte assumendo tale valore massimo.

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	16 di 20

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

9.3 Verifiche del cordolo di banchina in c.a.

9.3.1.1 Verifica a momento flettente positivo lungo x ($M_{xx,+}$)

Si considera una sezione 100x110 cm armata come segue:

- Larghezza sezione $b = 100 \text{ cm}$
- Altezza $h = 110 \text{ cm}$
- Dist. armatura tesa/lembo compresso $d = 100 \text{ cm}$
- Dist. armatura compressa/lembo compresso $d' = 7 \text{ cm}$
- Armatura tesa ($6\phi 20$) $A_s = 18,85 \text{ cm}^2$
- Armatura compressa ($6\phi 20$) $A_s' = 18,85 \text{ cm}^2$

The screenshot shows the 'Verifica C.A. S.L.U.' software interface. The main window title is 'Verifica C.A. S.L.U. - File: Cordolo_di_banchina_ca_Mxx+'. The menu bar includes 'File', 'Materiali', 'Opzioni', 'Visualizza', 'Progetto Sez. Rett.', 'Sismica', and 'Normativa: NTC 2018'. The main area is divided into several panels:

- Titolo:** Cordolo_di_banchina_ca_Mxx+
- N° strati barre:** 8
- Table 1:**

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	110
- Table 2:**

N°	As [cm²]	d [cm]
4	3,14	57
5	3,14	68
6	3,14	75
7	3,14	84
8	18,85	100
- Sollecitazioni:** S.L.U. Metodo n. Values for N_{Ed} , M_{xEd} , M_{yEd} are all 0.
- P.to applicazione N:** Centro selected. $x_N = 0$, $y_N = 0$.
- Materiali:** B450C and C35/45. Properties like ϵ_{su} , f_{yd} , E_s , E_s/E_c , ϵ_{syd} , $\sigma_{s,adm}$ are shown.
- Stress/Strain:** $\sigma_c = -19,83 \text{ N/mm}^2$, $\sigma_s = 391,3 \text{ N/mm}^2$, $\epsilon_c = 3,5 \text{ ‰}$, $\epsilon_s = 37,74 \text{ ‰}$.
- Dimensions:** $d = 100 \text{ cm}$, $x = 8,487$, $x/d = 0,08487$, $\delta = 0,7$.
- Method of calculation:** S.L.U.+ selected.
- Typo flessione:** Retta selected.
- Buttons:** Calcola MRd, Dominio M-N, Col. modello, M-curvatura, Precompresso.

Il momento resistente ultimo è pari a $M_{Rd} = 1.147,0 \text{ kNm} > M_{xx,+} = 330,00 \text{ kNm}$

La verifica è soddisfatta

Codice	Titolo elaborato	Pagina
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	17 di 20

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

9.3.1.2 Verifica a momento flettente negativo lungo x ($M_{xx,-}$)

Si considera una sezione 100x110 cm armata come segue:

- Larghezza sezione $b = 100 \text{ cm}$
- Altezza $h = 110 \text{ cm}$
- Dist. armatura tesa/lembo compresso $d = 103 \text{ cm}$
- Dist. armatura compressa/lembo compresso $d' = 10 \text{ cm}$
- Armatura tesa ($6\phi 20$) $A_s = 18,85 \text{ cm}^2$
- Armatura compressa ($6\phi 20$) $A_s' = 18,85 \text{ cm}^2$

Il momento resistente ultimo è pari a $M_{Rd} = -1.165,0 \text{ kNm} > M_{xx,+} = -86,00 \text{ kNm}$

La verifica è soddisfatta

Codice	Titolo elaborato	Pagina
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	18 di 20

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

9.3.1.3 Verifica a taglio

Il taglio massimo sollecitante vale: $V_{Ed} = 323,00 \times 1,10 = 355,30$ kN

$$V_{Rd} = \frac{0,18 \times k \times (100 \times \rho_1 \times f_{ck})^{1/3}}{\gamma_c} \times b_w \times d = 332,50 \text{ kN} < v_{\min} \times b_w \times d = 372,00 \text{ kN}$$

Dove:

- $k = 1,447$
 - $\rho_1 = 0,00188$
 - $b_w = 100$ cm
 - $d = 100$ cm
 - $f_{ck} = 37,35$ N/mm²
 - $v_{\min} = 0,035 \times k^{3/2} \times f_{ck}^{1/2} = 0,372$
- $V_{Rd} = 372,00$ kN > $V_{Ed} = 355,030$ kN

Non occorre armatura a taglio.

La verifica è soddisfatta

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	19 di 20

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

9.4 Verifiche di resistenza degli ancoraggi

9.4.1 Verifica a trazione dell'ancoraggio

Il tiro massimo agente negli ancoraggi vale: $F_{tir,Ed} = 472,91$ kN

L'armatura degli ancoraggi passivi è prevista con barre $\phi 32$ tipo dywidag in acciaio ad alta resistenza. La resistenza di calcolo a trazione del tirante è calcolata mediante la formula seguente e vale:

$$N_{t,Rd} = \frac{A \times f_{yk}}{\gamma_{M0}} = \frac{804 \times 950}{1,05 \times 10^3} = 727,43 \text{ kN}$$

Con $\gamma_{M0} = 1,05$

$$\frac{F_{tir,Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1 \rightarrow \frac{472,91}{727,43} = 0,650 < 1$$

La verifica è soddisfatta

<i>Codice</i>	<i>Titolo elaborato</i>	<i>Pagina</i>
V3-R-07-00	Relazione di calcolo strutturale	20 di 20