



REGIONE TOSCANA

**Commissario Delegato
ex L. 228 24/12/2012**

***LAVORI DI “RIALZAMENTO DEL PONTE SUL FIUME
FRIGIDO SUL LUNGOMARE VESPUCCI DI MARINA
DI MASSA”***

***Sito in: Massa
Viale Vespucci***

Ente Attuatore: Regione Toscana

Proprietà: Comune di Massa

***Progetto:
Ing. Paolo Edoardo Giusti***

***Collaboratore:
Ing. Michele Baldiati***

***DOCUMENTO:
Verifiche Adeguamento Spalla di Fondazione:
Relazione Tecnica Generale.
Relazione Tecnica di Calcolo.
Relazione sui Materiali.
Data: Gennaio 2017***

----- 000 -----

RELAZIONE ILLUSTRATIVA DELL'OPERA:

Nell'ambito della messa in sicurezza idraulica del fiume Frigido la Regione Toscana ha predisposto i fondi per il Rialzamento del ponte su viale Amerigo Vespucci, lungomare di Marina di Massa. Detto intervento si propone di rialzare il Ponte esistente di 120 cm rispetto alla posizione attuale in modo da consentire il deflusso della portata di piena, calcolata con tempo di ritorno pari a 200 anni (stimata secondo lo studio Porf,Settesoldi in 638 mc/sec), mantenendo un franco all'intradosso del ponte pari a circa 40 cm. Da un punto di vista idraulico l'intervento presenta un notevole miglioramento rispetto alla situazione attuale. Da un punto di vista Strutturale e Sismico l'intervento si configura come intervento di Adeguamento alla normativa vigente NTC 2008.

La presente relazione illustra la verifica dell'adeguamento della spalla di fondazione esistente del ponte in oggetto alla normativa vigente, D.M. del 14 gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni". Le verifiche faranno riferimento alla configurazione finale che si avrà a seguito del rialzamento della sovrastruttura.

Trattasi della Spalla di appoggio di un ponte ad Arco a via inferiore chiuso del tipo a Travata Langher realizzato tra il 1995 ed il 1997 con struttura portante in profili composti in acciaio CorTen con soletta di impalcato in c.a. gettato in opera sulle piattabande piolate delle travi di impalcato. Per cui si tratta sostanzialmente di un ponte esternamente isostatico che appoggia su due spalle di fondazione identiche formate da un muro di larga sezione poggiante su di una piattabanda di fondazione a sua volta fondata su numero sette pali di diametro 120 cm e profondità 10 ml a partire dal lembo inferiore della fondazione, la quale si trova impostata a - 5.20 m dal piano strada.

UBICAZIONE DELL'OPERA:

Il Ponte in oggetto è situato sul Viale Vespucci in località Marina di Massa (MS) ed è situato in prossimità della foce del fiume Frigido.

DESCRIZIONE GENERALE DELL'INTERVENTO.

L'intervento in oggetto consta in pratica dell'innalzamento del ponte di circa 1.20 ml rispetto alla posizione originale per questo motivo le masse che generano sia in carichi permanenti che l'azione sismica sulla spalla traslano verso l'alto della stessa misura. Al fine di realizzare un completo adeguamento della spalla di fondazione saranno analizzate le due condizioni limite: Carichi verticali massimi da traffico + Spinta del terreno + permanenti propri e portati, questa per la verifica strutturale delle parti del muro di spalla.(Gamma STR)
Carichi verticali permanenti + spinta del terreno in condizioni sismiche + azione sismica trasmessa alla Spalla dell'impalcato, per la verifica delle fondazioni. (Gamma GEO)

Carichi verticali permanenti + spinta del terreno in condizioni sismiche + azione sismica trasmessa alla Spalla dell'impalcato, per la verifica dell'equilibrio al ribaltamento rigido. (Gamma EQU)

Da un punto di vista dei carichi verticali, permanenti ed accidentali, l'innalzamento del ponte non ha una particolare rilevanza in quanto i soli carichi aggiunti sono le piccole parti in c.a. che seguono l'innalzamento della struttura, come i baggioli di appoggio a la spalletta paraghiaia, inoltre per quanto riguarda l'entità dei carichi verticali da traffico ed i relativi coefficienti di sicurezza non vi è alcun aggravio tra la Normativa utilizzata allora (DM/96) e la norma attuale secondo cui sono condotte le presenti verifiche (NTC/08).

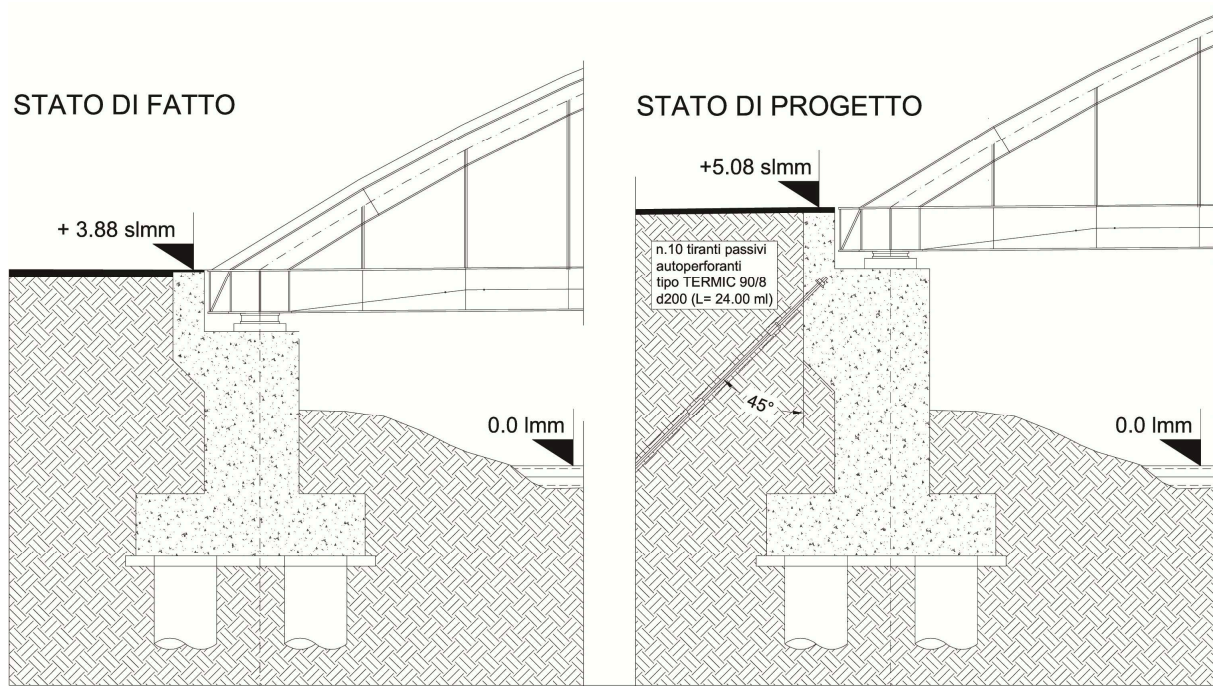
Di contro da un punto di vista Sismico vi è un doppio aggravio delle Azioni sulla Spalla: sia per quanto riguarda i valori delle accelerazioni al suolo, che sono state sensibilmente rivalutate da allora, sia per il fatto che la massa totale del ponte viene traslata verso l'alto di circa 1.20 m quindi la distanza di questa dal piano di fondazione passa da 4.45 m a 5.65m per cui gli effetti delle azioni orizzontali sulle fondazioni saranno sensibilmente variati e saranno oggetto di attenta valutazione in questo studio.

Per questo motivo si è deciso di prevedere una serie di micropali (o Tiranti Passivi diametro foro 20cm lunghezza 24 ml) ancorati alla testa della spalla ed inclinati di 45° sull'orizzontale in maniera tale che Tutte le azioni orizzontali da Sisma, da Vento, da Frenamento, o dovute alla spinta del terreno, trasmesse dall'impalcato alla spalla attraverso gli appoggi siano completamente assorbite da questi tiranti passivi i quali potranno reagire sia in trazione che in compressione a seconda della direzione delle azioni orizzontali in gioco, in favore di sicurezza si è trascurato il contributo del terreno in spinta passiva nella spalla in direzione dell'azione. Nessuna importanza pratica invece riveste l'azione orizzontale sismica o da vento in direzione ortogonale all'asse viario in quanto in quella direzione la spalla è estremamente tozza, cioè distribuisce un'azione proveniente dagli appoggi su di una fondazione larga 4.40 ml e lunga 23.60 ml nel senso dell'azione inoltre fondata su numero 7 pali d120cm lunghi 10ml dal piano di fondazione.

SHEMATIZZAZIONE DELLA STRUTTURA DI SPALLA:

Descrizione del modello e delle analisi condotte:

La Spalla di appoggio del ponte viene schematizzata come muro di sostegno controterra in c.a. su pali di fondazione, stabilizzato da una serie di tiranti ancorati sulla sua sommità ed inclinati di 45° sulla verticale. Sulla testa del muro al livello degli apparecchi di appoggio del ponte saranno applicate le azioni orizzontali e verticali provenienti dall'analisi globale statica e sismica del ponte. Di seguito riportiamo le due sezioni della spalla, prima e dopo l'intervento di adeguamento in progetto.



Schema grafico della sezione originale e di Progetto:

NORMATIVA DI RIFERIMENTO.

Di seguito riportiamo le norme, le circolari ministeriali esplicative a cui è stato fatto riferimento per la verifica dell'opera:

D.M. del 14 gennaio 2008 recante "Norme Tecniche per le Costruzioni".

CIRCOLARE 2 Febbraio 2009, N.617 C.S.LL.PP. recante "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M.del 14 Gennaio 2008"

MATERIALI STRUTTURALI.

Dai documenti reperiti si deduce che per la realizzazione dell'intervento in oggetto sono stati utilizzati i seguenti materiali. Per maggiori dettagli sulle caratteristiche dei materiali si rimanda alla relazione dedicata.

Calcestruzzo strutturale:

Calcestruzzo Rck 400 per la soletta di impalcato

Calcestruzzo Rck 300 per le spalle di fondazione delle quali ci si occupa in relazione dedicata.

Id	Tipo / Note		Young	Poisson	G	Gamma	Alfa
		daN/cm2	daN/cm2		daN/cm2	daN/cm3	
1	Calcestruzzo Classe C25/30		3.145e+05	0.12	1.404e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	300.0					
	fctm	25.6					
1	Calcestruzzo Classe C32/40		3.360e+05	0.2	1.404e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	400.0					
	fctm	30.2					

Acciaio ad aderenza migliorata tipoFeB44K equivalente al B450C.

Tensione di snervamento

fyk=4500 Kg/cmq

Tensione di rottura

fyk=5400 Kg/cmq

Allung. A rottura

Agtk > 7.50%

STRATIGRAFIA E CARATTERISTICHE DEI TERRENI:

Stratigrafia dei terreni:

Per quanto riguarda le caratteristiche geotecniche dei terreni si rimanda alla Relazione Geologica e Geotecnica redatta dalla Dott.ssa Milano sulla base degli studi eseguiti a suo tempo sul ponte in oggetto ed nel 2014 per la realizzazione del ponte su via Mascagni distante circa 80 metri verso monte.

Di seguito riportiamo i valori messi a conto per le verifiche.

Nr.	Terreni	Quota iniziale strato [cm]	Quota finale strato [cm]	Inclinazione [°]	Falda	Permeabilità [m/s]	Peso unità volume [KN/m³]	Angolo resistenza a taglio [°]	Coesione [kPa]	Angolo di attrito terra muro [°]	Modulo elastico [kPa]	Retino	Descr.
1	Terreno DB	565.00	366.00	0	<input type="checkbox"/>	0	16.18	30.8	0.07	10	15870		Terr.di Rip.
2	Terreno DB	366.00	226.00	0	<input type="checkbox"/>	0	19.61	26.5	0.06	13.3	4500		Limi Argillosi
3	Terreno DB	226.00	36.00	0	<input type="checkbox"/>	0	18.63	32	0	24	22200		Ghiaia con
4	Terreno DB	36.00	-474.00	0	<input type="checkbox"/>	0	18.14	30.7	0	21.3	14100		Sabbia limosa
5	Terreno DB	-474.00	-674.00	0	<input type="checkbox"/>	0	17.65	29.5	0	18.7	10700		Sabbia o sabbia
6	Terreno DB	-674.00	-1844.00	0	<input type="checkbox"/>	0	18.14	31.5	0	21.3	17400		Sabbia limosa
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								
					<input type="checkbox"/>								

Collasso per slittamento e carico limite NSPT

Attrito fondazione terreno 0 ° Nspt

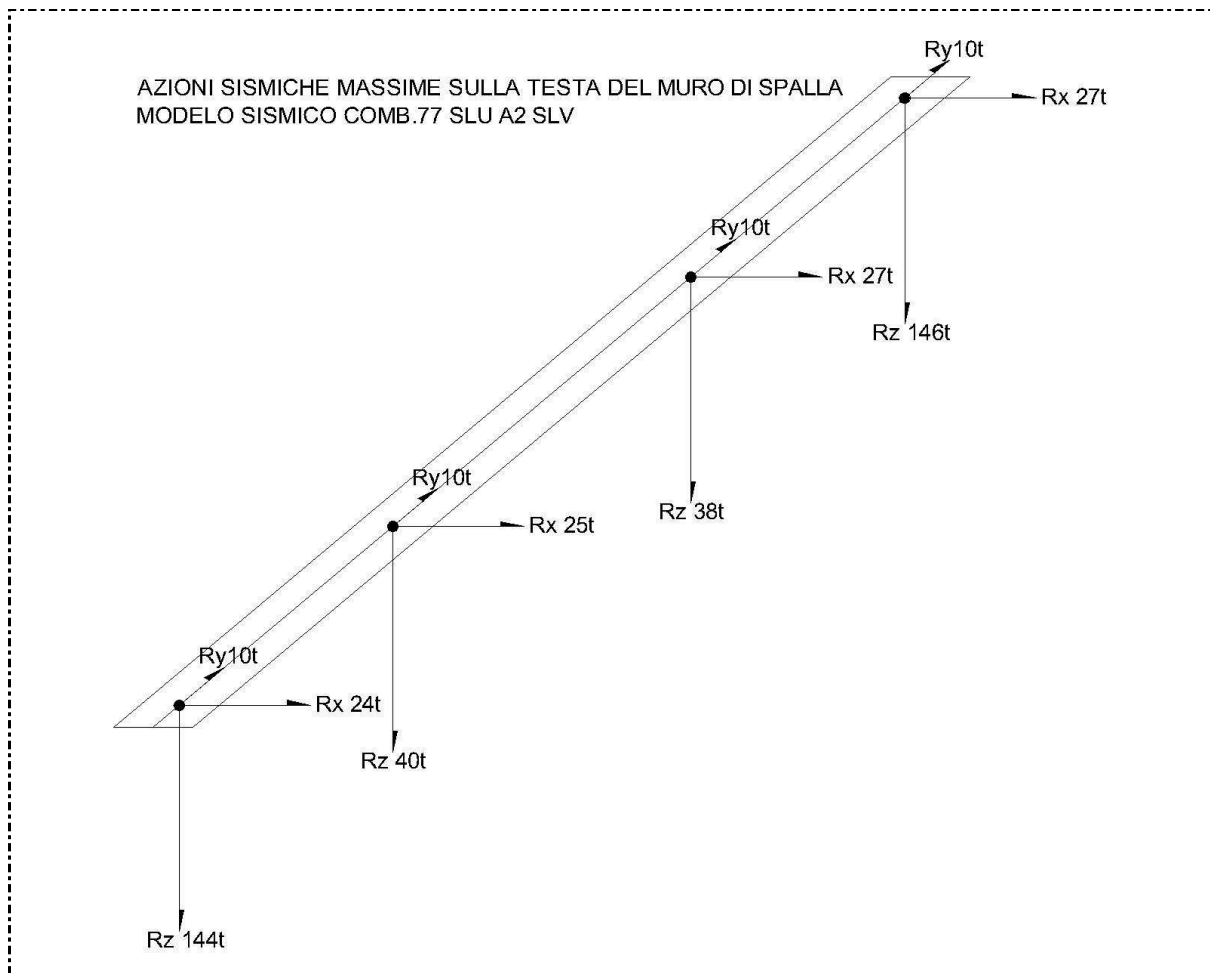
Adesione fondazione [kPa] 0 Descrizione strato.

Partecipazione spinta passiva 30 %

☒ Usa sempre l'angolo di attrito terra muro

ANALISI DEI CARICHI:

Per le verifiche di sicurezza e stabilità della spalla di fondazione saranno messe a conto oltre alle spinte del terreno retrostante la spalla, in condizioni statiche e sismiche anche i carichi trasmessi alla spalla dall'impalcato soprastante nonché le reazioni affidate ai tiranti passivi di stabilizzazione.



Carichi trasmessi alla spalla di appoggio dall'impalcato in condizioni sismiche.

Carichi verticali permanenti:

Dalle analisi dei modelli dell'impalcato, a cui si rimanda, si ricavano i carichi verticali permanenti trasmessi alla spalla (lunghezza muro 23.5 ml):

$$Tot_{perm} = 3700 \text{ Kn}$$

$$Qv_{perm} = 3700/23.5 = 157.4 \text{ KN/ml}$$

Carichi verticali da traffico:

Dalle analisi dei modelli dell'impalcato, a cui si rimanda, si ricavano i carichi verticali da traffico trasmessi alla spalla (lunghezza muro 23.5 ml):

$$\text{Tot.traff} = 2542 \text{ Kn}$$

$$Q_{V.\text{traff}} = 2542/23.5 = 108.2 \text{ KN/ml}$$

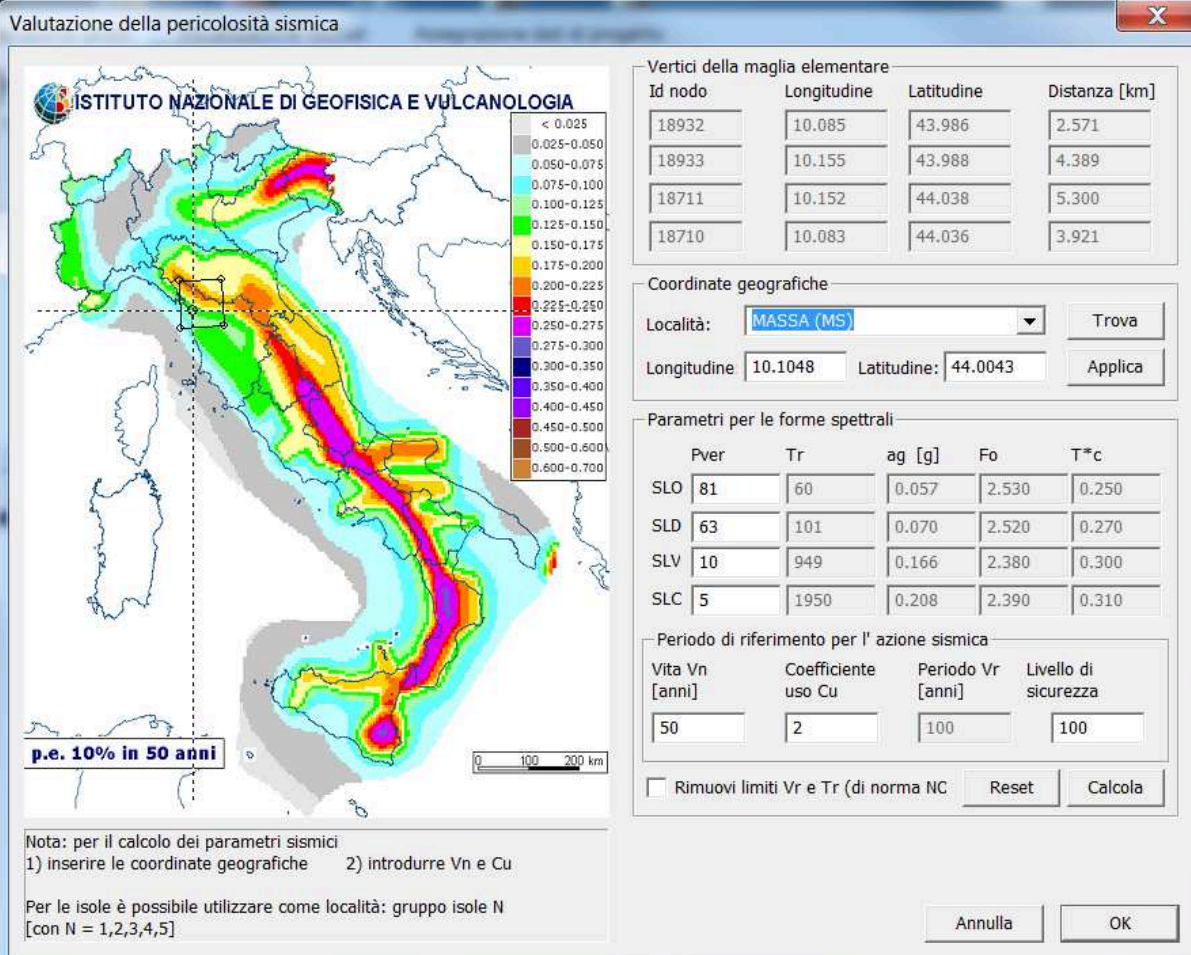
Carichi Orizzontali da sisma trasmessi dall'impalcato:

Dalle analisi dei modelli dell'impalcato, a cui si rimanda, si ricavano i carichi orizzontali da Sisma trasmessi alla spalla (lunghezza muro 23.5 ml):

$$\text{Tot.sisma} = 1040 \text{ Kn}$$

$$Q_{V.\text{sisma}} = 1040/23.5 = 44.2 \text{ KN/ml}$$

Valutazione della pericolosità sismica



ISTITUTO NAZIONALE DI GEOFISICA E VULCANOLOGIA

Legend for seismic hazard (p.e. 10% in 50 anni):

- < 0.025
- 0.025-0.050
- 0.050-0.075
- 0.075-0.100
- 0.100-0.125
- 0.125-0.150
- 0.150-0.175
- 0.175-0.200
- 0.200-0.225
- 0.225-0.250
- 0.250-0.275
- 0.275-0.300
- 0.300-0.350
- 0.350-0.400
- 0.400-0.450
- 0.450-0.500
- 0.500-0.600
- 0.600-0.700

Vertici della maglia elementare

Id nodo	Longitudine	Latitudine	Distanza [km]
18932	10.085	43.986	2.571
18933	10.155	43.988	4.389
18711	10.152	44.038	5.300
18710	10.083	44.036	3.921

Coordinate geografiche

Località:

Longitudine: Latitudine:

Parametri per le forme spettrali

	Pver	Tr	ag [g]	Fo	T*c
SLO	81	60	0.057	2.530	0.250
SLD	63	101	0.070	2.520	0.270
SLV	10	949	0.166	2.380	0.300
SLC	5	1950	0.208	2.390	0.310

Periodo di riferimento per l'azione sismica

Vita Vn [anni]	Coefficiente uso Cu	Periodo Vr [anni]	Livello di sicurezza
<input type="text" value="50"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text" value="100"/>

☐ Rimuovi limiti Vr e Tr (di norma NC)

Nota: per il calcolo dei parametri sismici
 1) inserire le coordinate geografiche 2) introdurre Vn e Cu
 Per le isole è possibile utilizzare come località: gruppo isole N [con N = 1,2,3,4,5]

Coefficienti di Struttura q.

Data la sostanziale isostaticità della struttura si sono adottati coefficienti di struttura qx, qy, qz, unitari.

COMBINAZIONI DEI CARICHI ANALIZZATE:

Nella analisi sono stati valutati gli stati limite ultimi relativi alla Struttura. Al Terreno di Fondazione ed all'Equilibrio globale del manufatto. Nel fascicolo dei calcoli allegato sono riportate in dettaglio le combinazioni dei carichi nel rispetto della normativa.

AZIONI COMPLESSIVE SULLA PALIFICATA DI FONDAZIONE:

In favore di sicurezza la spalla di fondazione è stata verificata come muro su fondazione diretta nastriforme, in tutte le combinazioni analizzate la fondazione risulta ampiamente verificata, per cui la presenza della palificata di fondazione può essere considerata solo per la mitigazione dei cedimenti. Per il dettaglio delle verifiche si rimanda al fascicolo dei calcoli allegato.

Di seguito riportiamo comunque la valutazione della portanza di progetto dei pali in condizioni GEO.

Portanza Palo trivellato d120 L10m su terreno incoerente.	
Caratteristiche dello strato medio	
<i>Gamma sat. daN/mc</i>	<i>2100</i>
Gamma Immerso daN/mc	1800
<i>Angolo Attr Int. Cond drenate °</i>	<i>31</i>
Tang(fi)	0.60072171
Gamma (fi)M2	1.25
Tan (fi) d	0.48057737
Tang (fi) palo-Terr (2/3)	0.32038491
<i>Ks coeff.press.lat-palo</i>	<i>0.6</i>
Diametro palo cm	
<i>120.0</i>	
Circonf. Palo cm	376.9
<i>Profondità media dello strato m</i>	<i>11</i>
<i>Altezza Strato m</i>	<i>10</i>
Sig' litostatica daN/cm ²	1.98
Portanza Laterale Ult. daN	
<i>143462.3</i>	
Gamma.s Tab 6.4.2 NTC	1.45
Portanza Laterale d. daN	98939.5
Portanza alla Punta	
Area di base palo cm ²	11307.6
<i>Profondità della punta palo m</i>	<i>15</i>
Sig' Litostatica alla punta daN/cm ²	2.7
<i>Nq fattore portanza punta</i>	<i>45</i>
Portanza punta Ult. daN	1373873.4
Gamma.b Tab 6.4.2 NTC	1.70
Portanza punta d. daN	808160.8

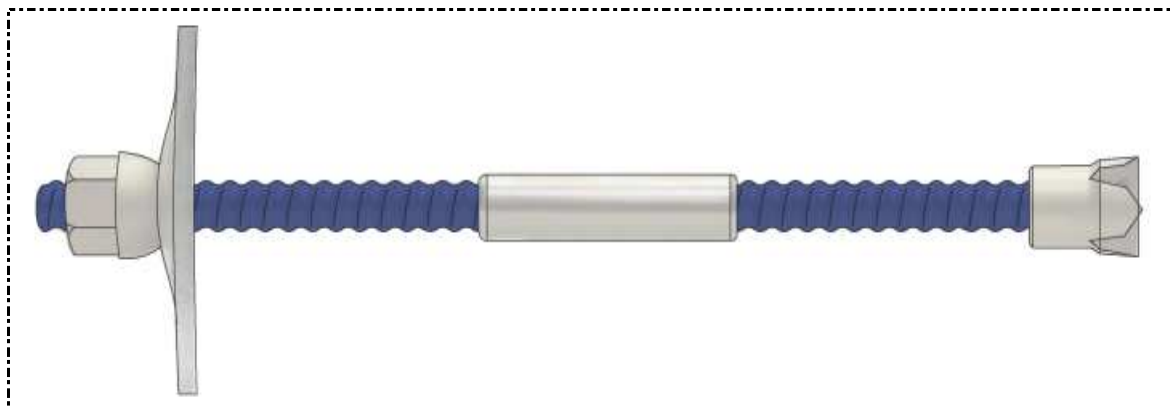
Portanza Totale	907100.3
<i>Fatt. di corr. Chi.3 Tab 6.4.IV NCT</i>	<i>1.65</i>
Portanza palo di Progetto daN	549757.8

AZIONE ORIZZONTALE SUI TIRANTI PASSIVI:

La stabilizzazione della spalla in senso orizzontale è affidata a numero 10 Tiranti passivi tipo Termic della Rock Bolting System eseguiti su perforazione da 200mm di lunghezza 24 ml con inclinazione di 45° sulla verticale.

Tale serie di Tiranti passivi sono previsti allo scopo di stabilizzare la spalla di fondazione nei confronti di tutte le azioni orizzontali nel senso longitudinale del ponte, e tra queste , la prevalente è di gran lunga l'azione sismica, che calcolata ai sensi della normativa vigente NTC2008, risulta pari a 1040 KN per ogni spalla.

Per i Tiranti passivi saranno utilizzati materiali RBS (Rock Bolting System) tipo Termic 90/8.0 mm aventi le seguenti caratteristiche:



La realizzazione di questi Tiranti è del tutto simile a quella di un micropalo, fatto salvo il fusto dell'armatura completamente filettato dotato di manicotti di giunzione e piastra di testata con dado che assicura il perfetto assorbimento delle azioni di trazione sulla barra e la testa di perforazione a perdere che permette l'iniezione dal fondo.

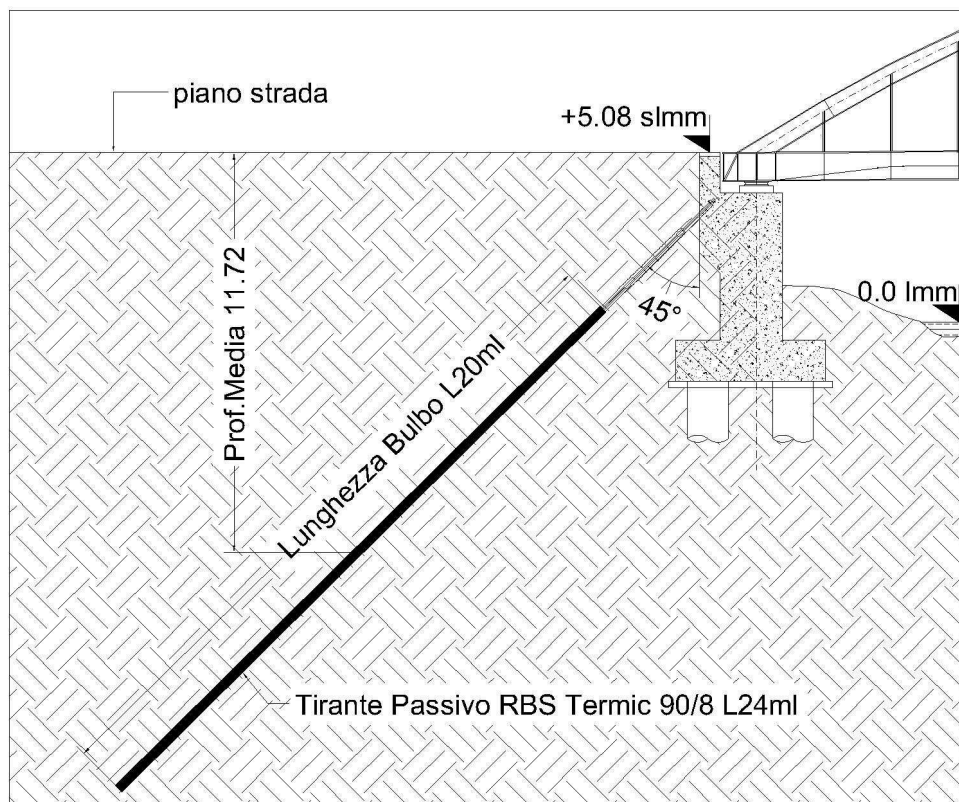
Tipo Barra Rod type		R32			R38			R51		R76			R90		R114	
Spessore Thickness	mm	4,5	5,6	7,2	5,2	7,1	8,2	7,1	9,4	6,3	8,0	10,0	8,0	10,0	8,0	10,0
Rottura barra Ultimate load rod	kN	390	450	580	580	700	820	1000	1200	1400	1800	2200	2100	2500	2800	3450
Snervamento $f_{y0,2}$ barra Yield point $f_{y0,2}$ rod	kN	325	380	460	480	600	650	800	1000	1100	1400	1700	1600	2000	2100	2700
Sezione media Average cross section	mm ²	370	450	530	530	680	750	950	1150	1300	1690	2050	1950	2400	2550	3180
Peso Weight	kg/mt	2,92	3,57	4,25	4,30	5,50	6,00	7,43	9,38	11,55	13,95	16,65	16,00	19,50	21,00	25,80
Diametro nominale Nominal diameter	mm	32			38			51		76			90		114	
Tipo filetto Thread type		Sinistro ¹ Left hand			Sinistro ¹ Left hand			Sinistro ¹ Left hand		Destro ² Right hand			Destro ² Right hand		Destro ² Right hand	

Dati tecnici dell'armatura.

Carico di Rottura Barra	2100 KN
Carico di Snervamento Barra	1600 KN
Tensione di snervamento	$f_{yk}=960 \text{ N/mm}^2$
Allungamento a Rott. >	5%
Coeff. d'incrudimento f_{tk}/f_{yk}	= 1.20

Verifica allo sfilamento del Tirante:

Il Tirante passivo sarà realizzato secondo lo schema sotto riportato ed ha una carico di progetto in combinazione STR pari a 313 KN:



Verifica Tirante su terreno incoerente	
Caratteristiche del Tirante	
<i>Carico di Progetto daN</i>	<i>31300</i>
<i>Lunghezza Totale ml</i>	<i>24</i>
<i>Lunghezza Bulbo ml</i>	<i>20</i>
<i>Diametro di perforazione cm</i>	<i>20</i>
<i>Inclinazione Tirante °</i>	<i>45</i>
<i>Profondità media Bulbo ml</i>	<i>11.72</i>
Caratteristiche dello strato medio	
<i>Gamma sat. daN/mc</i>	<i>2100</i>
Gamma Immerso daN/mc	1800
<i>Angolo Attr Int. Cond drenate °</i>	<i>31</i>
Tang(fi)	0.600721709
Gamma (fi)M2	1.25
Tan (fi) d	0.480577368
<i>Ks coeff.press.lat-palo</i>	<i>0.6</i>
<i>Diametro locale Bulbo cm</i>	<i>20.0</i>
Circonf. Palo cm	62.8
<i>Profondità media dello strato m</i>	<i>11.72</i>
<i>Lungh Attiva Bulbo ml</i>	<i>20</i>
Sig'.litostatica daN/cm ²	2.1096
Portanza Laterale Ult. daN	76426.3
<i>Gamma.r (Tab 6.6.1 NTC/08)</i>	<i>1.2</i>
<i>Numero Verticali indagate</i>	<i>4</i>
<i>Csi.a3. (tab.6.6.III NTC/08)</i>	<i>1.65</i>
Portanza Tirante di progetto daN	38599.1

Carico di Prog. = 313 KN < Portanza Tirante = 386 KN Verificato.

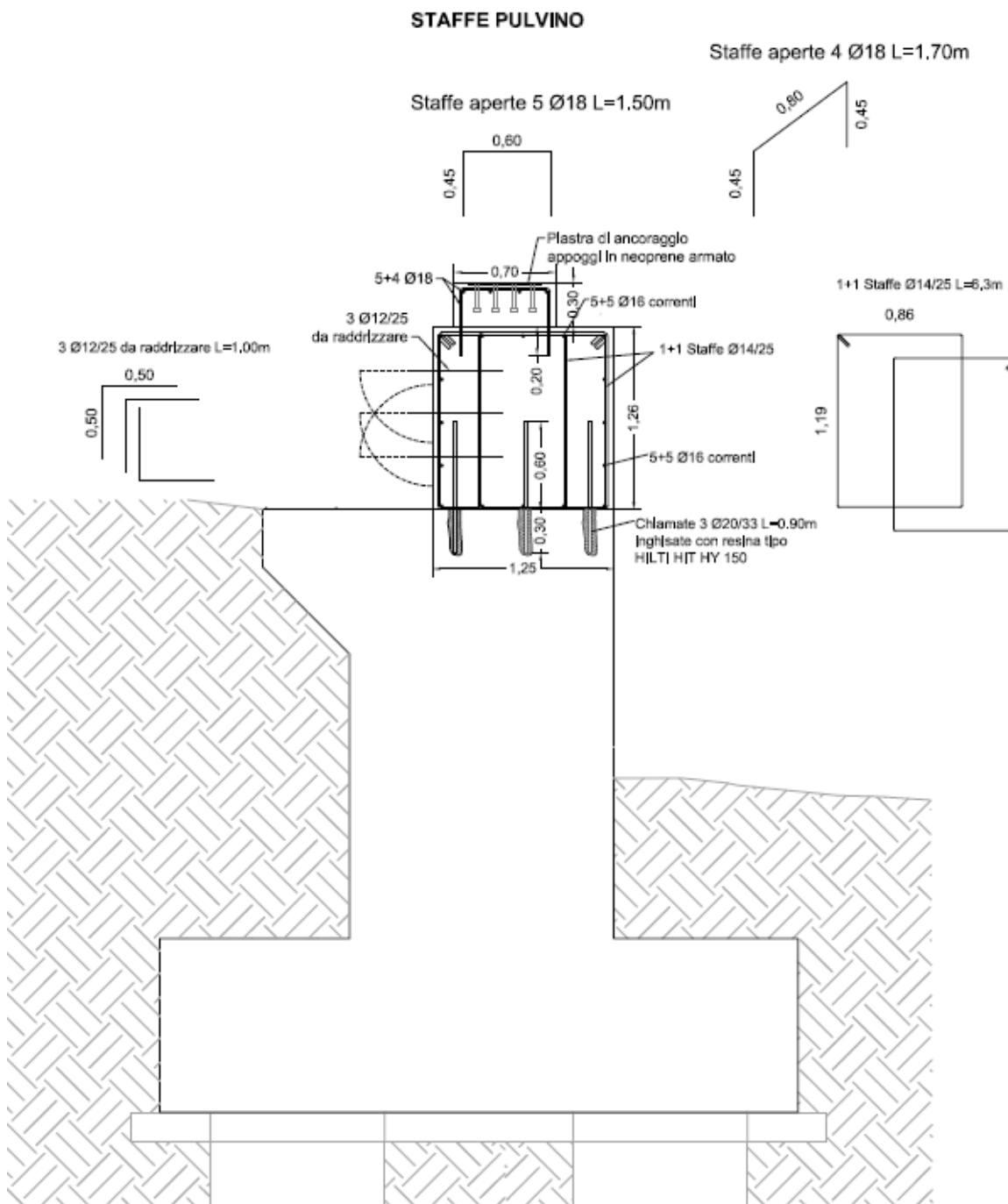
La Portanza del tirante se pur calcolata in condizioni GEO con riduzione del Tg(fi) risulta superiore al carico di progetto previsto in combinazione STR quindi l'elemento progetto assicura le prestazioni richieste.

VERIFICA TRASMISSIONE CARICHI SU PULVINO

Per le seguenti verifiche di trasmissione dei carichi dalla struttura alla spalla di appoggio consideriamo la massima azione orizzontale sugli appoggi $V_{ed}=27t$.

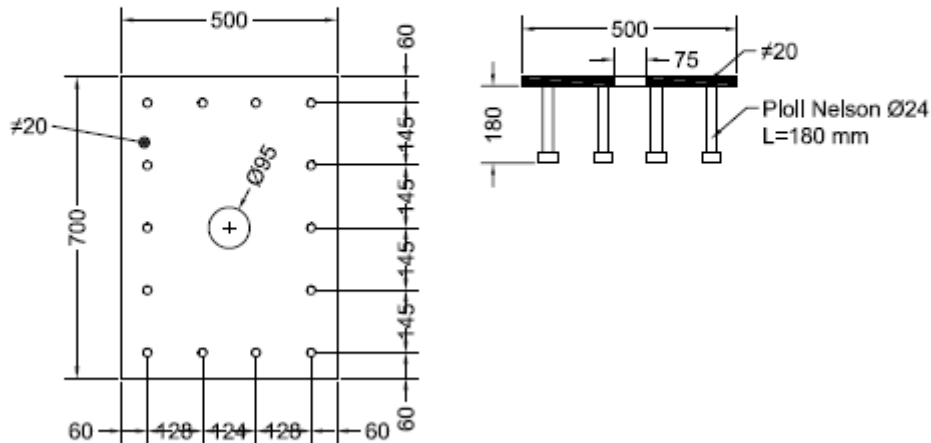
Di seguito si riportano le verifiche del perno di ancoraggio tra struttura e appoggio in neoprene armato, della piolatura della piastra di ancoraggio al pulvino e delle barre di ancoraggio del pulvino alla spalla di appoggio

Riportiamo di seguito la sezione della spalla di appoggio e il dettaglio della piastra di ancoraggio degli appoggi



Sezione spalla

PARTICOLARE PIASTRA DI ANCORAGGIO APPOGGI IN NEOPRENE ARMATO



Particolare piastra di ancoraggio appoggi in neoprene armato

VERIFICA PERNO DI COLLEGAMENTO APPOGGIO-STRUTTURA

Per la verifica del perno di collegamento tra struttura e appoggio consideriamo la massima azione orizzontale sugli appoggi.

Diametro perno	$d=9.5 \text{ cm}$
Area perno	$A=\pi \cdot 9.5^2/4=70.88 \text{ cm}^2$
Tensione di snervamento	$f_{yk}=2350 \text{ daN/cm}^2$
Massima azione orizzontale	$V_{Ed}=27000 \text{ daN}$
Verifica a taglio del perno	$V_{c,Rd}=A \cdot f_{yk}/(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0})=70,88 \cdot 2350/(\sqrt{3} \cdot 1.05)=91588 \text{ daN}$

$V_{Ed}/V_{c,Rd}=27000/91588=0.29<1$ **VERIFICATA**

VERIFICA PIOLI PIASTRA DI ANCORAGGIO

Diametro piolo	d=24 mm
Lunghezza piolo	$h_{sc}=180$ mm
Tensione di rottura	$f_{tk}=360$ N/mm ²
Massima azione orizzontale	$V_{Ed}=27000$ daN

VERIFICA DI SCONNESSIONE PIOLI		
Dati sezione		
n° pioli	14	
d	24	
h_{sc}	180	
h_{sc}/d	7.5	
α	1	
f_t	360	N/mm ²
R_{ck}	30	N/mm ²
f_{ck}	24.9	N/mm ²
E_c	33000	N/mm ²
γ_v	1.25	
SFORZO DI SCONNESSIONE		
V_{Ed}	2.70E+02	KN
F_{piolo}	1.93E+01	KN
RESISTENZA DEI CONNETTORI		
$P_{rd,a}$	104.21	KN
$P_{rd,b}$	121.13	KN
P_{rd}	104.21	KN
F_{piolo}/P_{rd}	1.85E-01	VERIFICATA

VERIFICA ANCORAGGIO PULVINO A SPALLA DI APPOGGIO

Per la verifica dell'ancoraggio del pulvino alla spalla di appoggio trattiamo le barre di armatura come dei pioli e conduciamo la seguente verifica:

Diametro barra	d=18 mm
Lunghezza barra	$h_{sc}=200$ mm
Tensione di rottura	$f_{tk}=360$ N/mm ²
Massima azione orizzontale	$V_{Ed}=27000$ daN

VERIFICA DI SCONNESSIONE BARRE		
Dati sezione		
n° pioli	18	
d	18	
h_{sc}	200	
h_{sc}/d	11.11	
α	1	
f_t	360	N/mm ²
R_{ck}	45	N/mm ²
f_{ck}	37.35	N/mm ²
E_c	33000	N/mm ²
γ_v	1.25	
SFORZO DI SCONNESSIONE		
V_{Ed}	2.70E+02	KN
F_{piolo}	1.50E+01	KN
RESISTENZA DEI CONNETTORI		
$P_{rd,a}$	58.62	KN
$P_{rd,b}$	83.45	KN
P_{rd}	58.62	KN
F_{piolo}/P_{rd}	2.56E-01	VERIFICATA

CONCLUSIONI.

Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

Gli elementi strutturali della spalla di fondazione come adeguati dagli interventi in progetto risultano ampiamente verificati agli SLU, per quanto riguarda gli spostamenti nelle direzioni X, Y, Z agli SLE non determinano particolari criticità dal punto di vista deformativo per la struttura.

Seguono in allegato i risultati del calcolo automatico del muro di Spalla svolti mediante il Software MDC GeoStru .

MATERIALI STRUTTURALI:

Calcestruzzo:

Per la nuova struttura:

Calcestruzzo Rck 300 per il muro d'argine.

Id	Tipo / Note		Young	Poisson	G	Gamma	Alfa
		daN/cm2	daN/cm2		daN/cm2	daN/cm3	
1	Calcestruzzo Classe C25/30		3.145e+05	0.12	1.404e+05	2.50e-03	1.00e-05
	Rck	300.0					
	fctm	25.6					

Acciaio ad aderenza migliorata tipo FeB44K equivalente al B450C.

Tensione di snervamento

$f_{yk}=4500 \text{ Kg/cm}^2$

Tensione di rottura

$f_{yk}=5400 \text{ Kg/cm}^2$

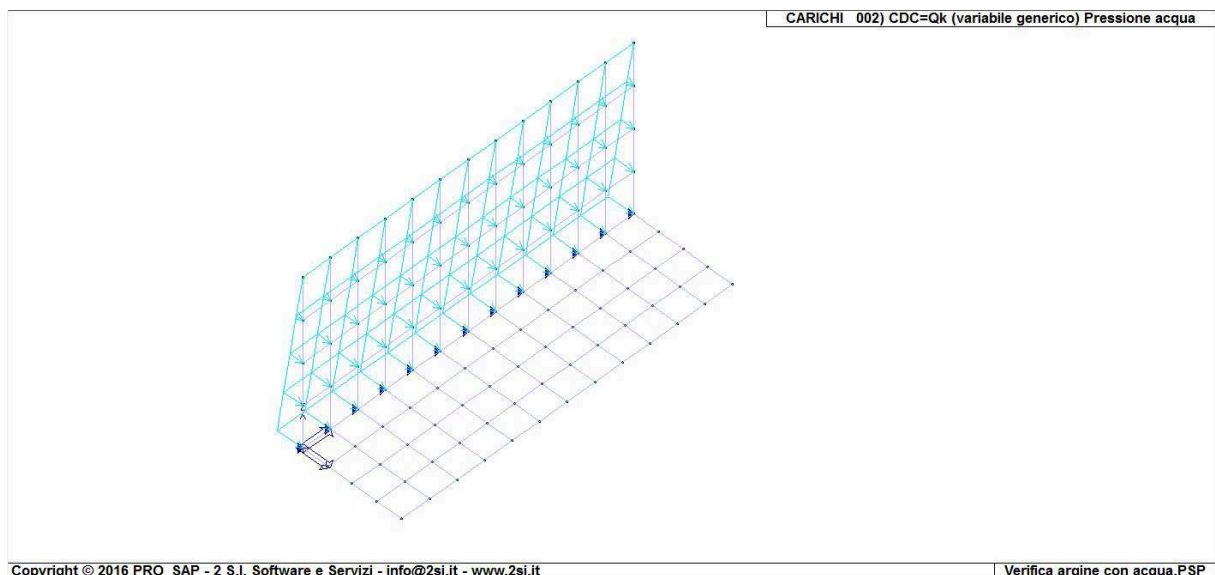
Allung. A rottura

$A_{gtk} > 7.50\%$

ANALISI DEI CARICHI

Pressione dell'acqua alla base

$$P=h*\gamma_a=1.55*10=15.50 \text{ KN/m}^2$$



Caso di carico pressione acqua

COMBINAZIONI DI CARICO

Sulla base dei casi di carico definiti, per la verifica della struttura sono state considerate le combinazioni di carico seguendo l'approccio 1 di cui ai paragr. 2.6.1, della Normativa. Il dettaglio delle combinazioni analizzate per gli Stati Limite Ultimi e di Esercizio sono riportate nei fascicoli dei calcoli allegati.

STR *Perm *1.3 ACC *1.5*

GEO *Perm *1.0 ACC *1.3*

EQU *Perm *0.9 ACC *1.5*

MODELLAZIONE DEI MATERIALI:

Sono stati modellati nel calcolo i materiali precedentemente citati i quali verranno schematizzati, per l'analisi globale, con legami costitutivi perfettamente elastici lineari secondo i parametri riportati in precedenza.

TIPO DI ANALISI E CODICE DI CALCOLO:

Il tipo di analisi adottato è l'analisi Statica e/o Dinamica, elastica, lineare sia in campo fisico che geometrico condotta con il metodo degli elementi finiti.

Per tale analisi è stato usato il codice di calcolo PRO_SAP prodotto dalla 2si Software e Servizi per l'Ingegneria Piazza Schiatti 8 Ferrara.

I tabulati prodotti da tale codice di calcolo comprendono come dati di ingresso : Intestazione e caratteristiche della struttura, gruppi della struttura, nodi del sistema e relativi gradi di libertà, materiali e sezioni utilizzate, carichi in luce alle travi, definizione di ogni singola asta (nodo iniziale, nodo finale, nodo di orientamento, svincoli eventuali alle estremità, materiale, tipo di sezione e carichi), combinazioni di carico e carichi ai nodi.

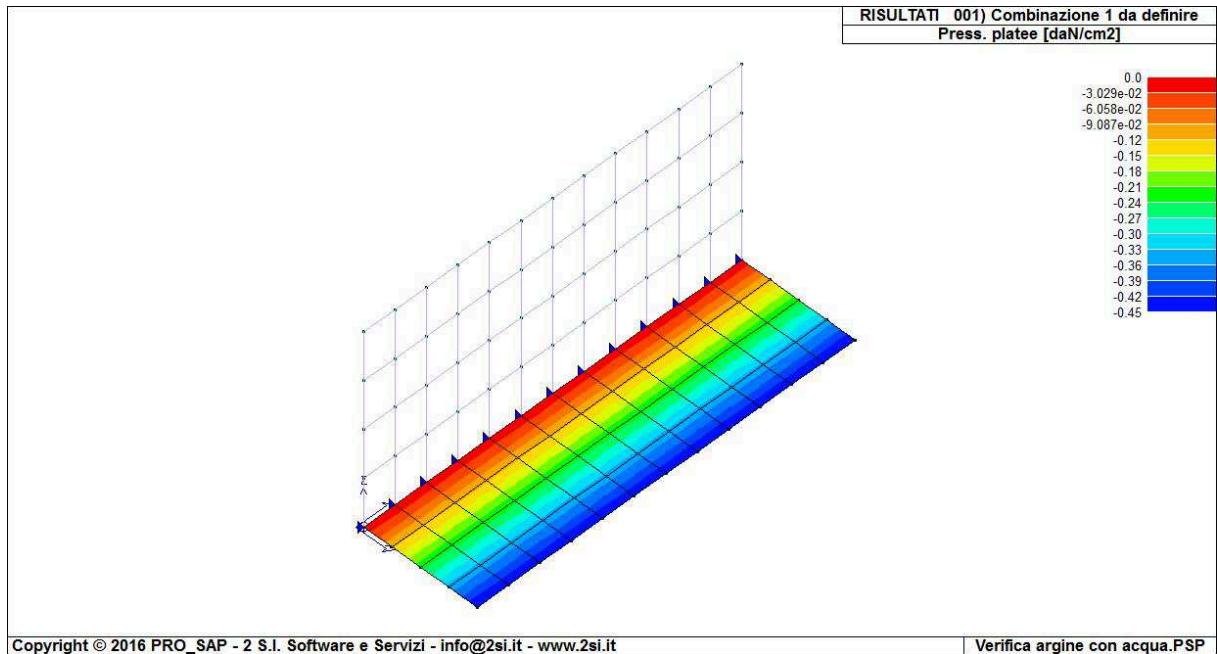
I dati di uscita principali sono invece: Spostamenti e rotazioni dei nodi liberi per ogni combinazione di carico, forze e momenti applicati alle estremità di ogni asta per ogni combinazione di carico, infine le reazioni vincolari sull'elemento finito vincolo sempre per ogni combinazione di carico.

VERIFICHE AGLI SLU DELLE MEMBRATURE:

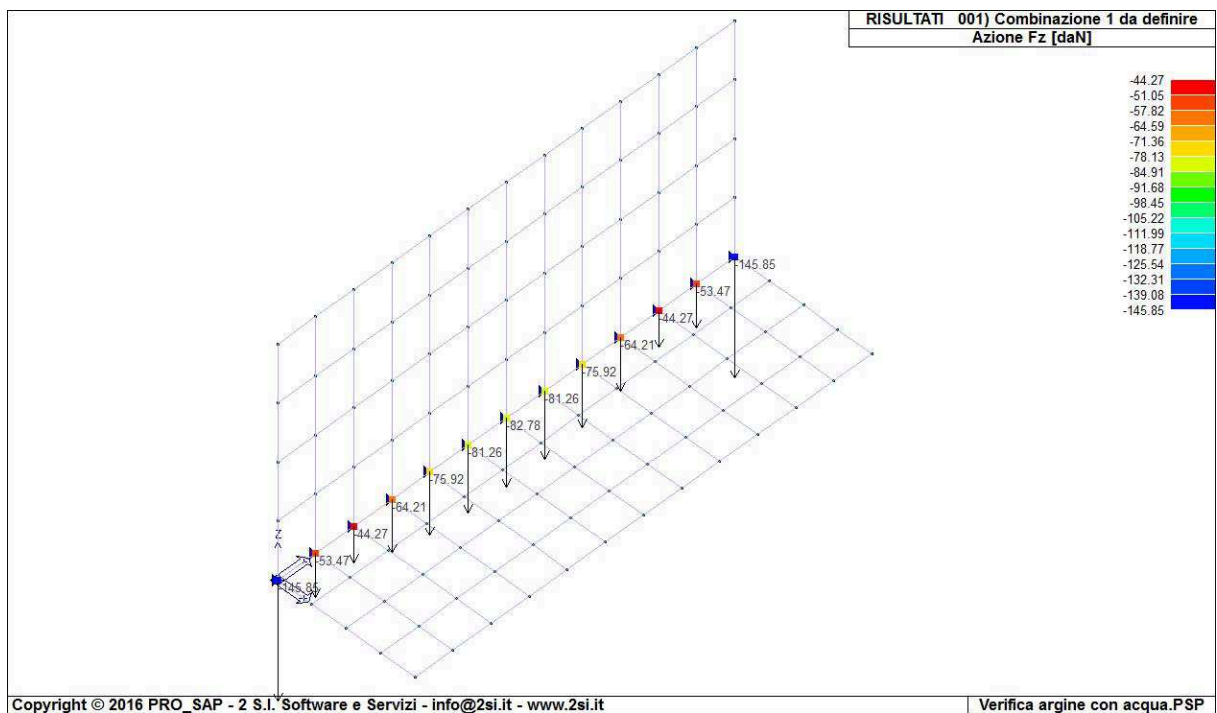
Sulla base dei risultati dell'Analisi Globale del Modello, secondo le combinazioni dei casi di carico considerati, vengono condotte le verifiche delle membrature agli Stati Limite Ultimi previsti dalla Norma.

In tutte le Combinazioni le Prestazioni minime richieste dalla Normativa sono state soddisfatte.

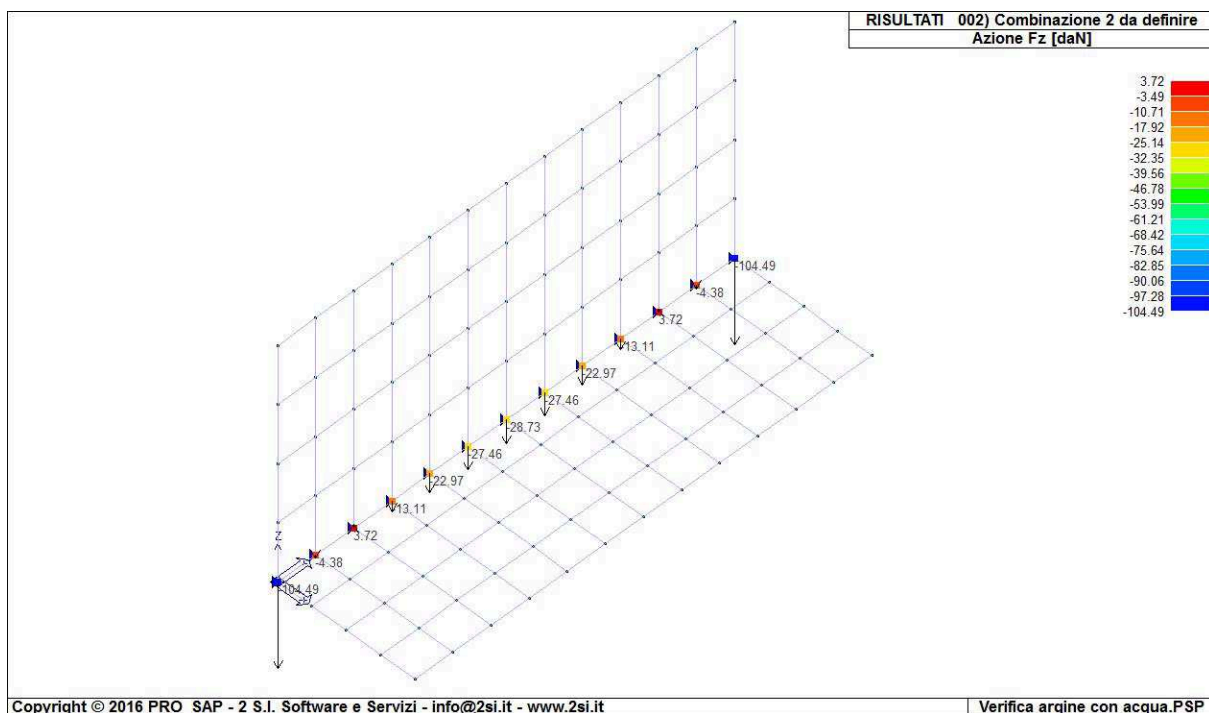
Di seguito riportiamo alcune immagini prodotte dal postprocessore grafico che illustrano chiaramente gli stati tensionali e deformativi della struttura nelle combinazioni di carico più significative.



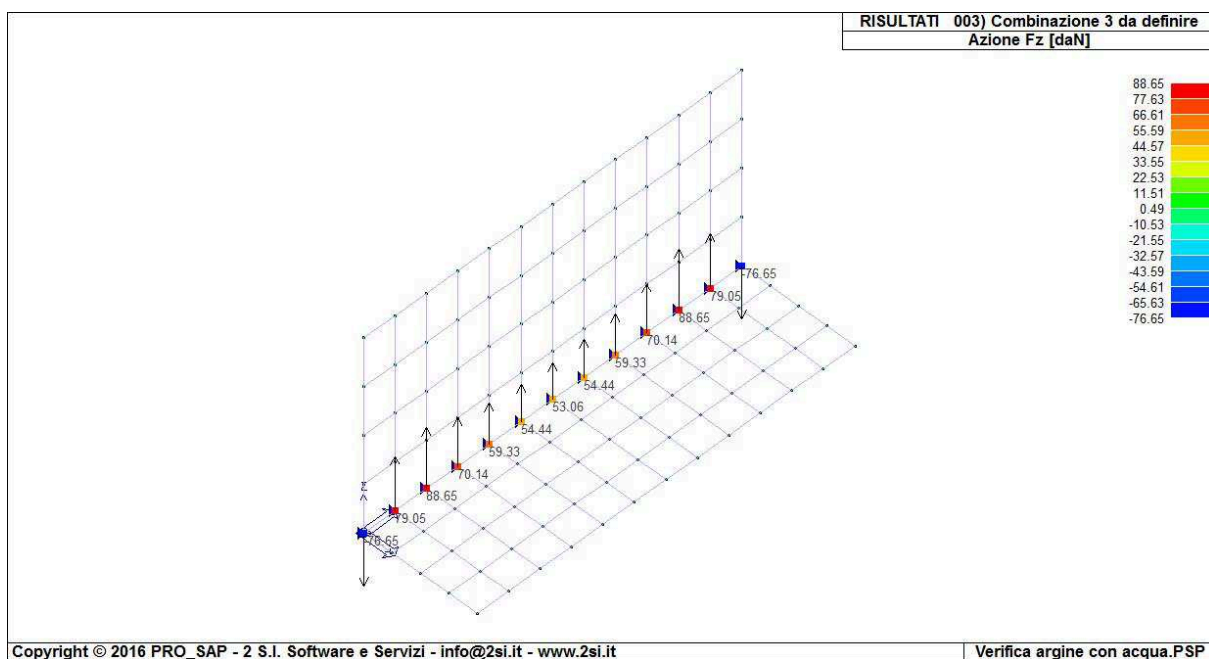
Massima pressione sulla fondazione. Cmb. $STRU\ G1*1.3 + Qk*1.5$



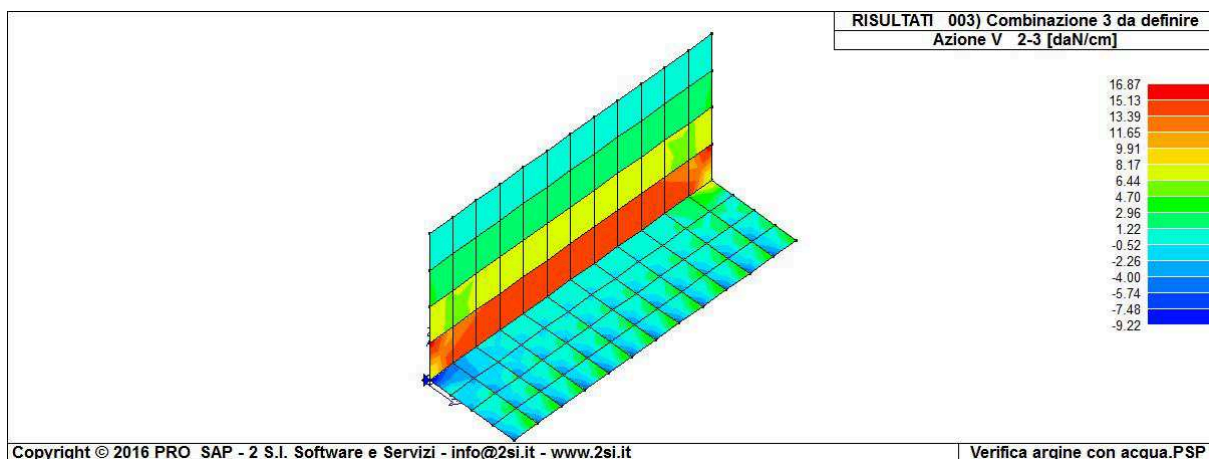
Massima azione verticale su fiorettature Cmb. $STRU\ G1*1.3 + Qk*1.5$



Massima azione verticale su fiorettature Cmb. $G1*1.0 + Qk*1.3$



Massima azione verticale su fiorettature. Cmb. $EQU: G1*0.9 + Qk*1.5$



Massima azione di taglio V2-3. Cmb. EQU $G1*0.9 + Qk*1.5$

Dall'analisi dei risultati della massima azione verticale sulle fiorettature nelle 3 combinazioni di carico, STRU, GEO, EQU si rileva che si ha sforzo di trazione solo nella combinazione di carico EQU, pertanto si effettua la verifica di resistenza a trazione delle fiorettature per questa combinazione di carico.

VERIFICA BARRE ACCIAIO

La fiorettatura è realizzata con coppie di barre d14/20

Massima azione di trazione $F_{Ed}=88.65/2=44.32$ daN

Massima resistenza barre d14: $f_y = 4500$ daN/mm²

Area barre d14 $A_{d14}=1.54$ cm²

Massima resistenza a trazione : $F_{Rd}=4500*1.54=6930$ daN > $F_{Ed}=44.32$ daN

Per la verifica a taglio delle barre di inghisaggio si considera una striscia di muro lunga 1m in cui abbiamo 5 coppie di barre per un totale di 10 barre. La verifica viene condotta come una verifica di sconnessione dei pioli

Massima azione di taglio $V=16.87$ daN/cm = 1687daN (per metro)

Lunghezza barra $h_{sc}=27$ cm

Diametro barre $d=14$ mm

Numero barre $n=10$

Classe calcestruzzo $R_{ck}=30$ N/mm²

VERIFICA DI SCONNESSIONE BARRE		
Dati sezione		
n° pioli	10	mm
d	14	
h _{sc}	270	
h _{sc} /d	19.29	
α	1	
f _t	360	N/mm ²
R _{ck}	30	N/mm ²
f _{ck}	24.9	N/mm ²
E _c	33000	N/mm ²
γ _v	1.25	
SFORZO DI SCONNESSIONE		
V _{Ed}	1.69E+01	KN
F _{piolo}	1.69E+00	KN
RESISTENZA DEI CONNETTORI		
P _{rd,a}	35.46	KN
P _{rd,b}	41.22	KN
P _{rd}	35.46	KN
F _{piolo} /P _{rd}	4.76E-02	VERIFICATA

VERIFICA ADERENZA ACCIAIO-CALCESTRUZZO

Tensione di aderenza acciaio-cls $f_{bd}=2.32 \text{ N/mm}^2$

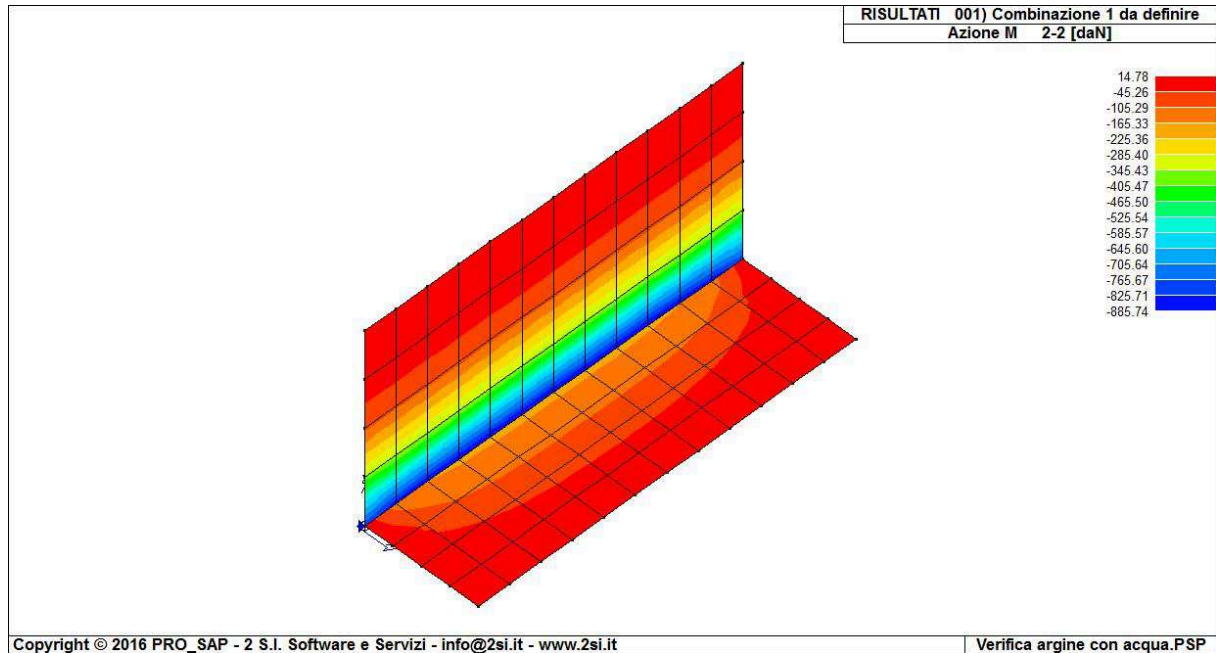
Massima resistenza a trazione $T_{ad}=S_{lat}*f_{bd}$

$$T_{ad}=(3.141*16*200)*2.32=2331.9\text{daN}>F_{Ed}=44.32 \text{ daN}$$

VERIFICA ARMATURA

Per il nuovo muro d'argine, avente fondazione di 90x30cm, è stata prevista un'armatura di fondazione costituita da barre d12 passo 20cm longitudinali e staffe trasversali d12 passo 20cm e si configura come una sezione debolmente armata.

Di seguito si riporta la verifica a flessione dell'armatura tesa per striscia di 1m di fondazione:



Momento sollecitante M_{ed} Cmb. STRU $G1*1.3 + Qk*1.5$

dimensione sezione	$h=30\text{cm}$
	$B=100\text{cm}$
Armatura in zonatesa 5 d12	$A_s=5.65\text{cm}^2$
Copriferro	$d=3\text{cm}$
Tensione di snervamento acciaio	$f_{yk}=4500 \text{ daN/cm}^2$
Resistenza di calcolo acciaio	$f_{yd} = f_{yk}/\gamma_s = 4500/1.15 = 3913 \text{ daN/cm}^2$
Sforzo di trazione nell'acciaio	$T = A_s * f_{yd} = 5.65 * 3913 = 22108.45 \text{ daN}$
Altezza efficace sezione	$h_{eff} = 0.9 * (h - d) = 0.9 * 27 = 24.3\text{cm}$
Momento resistente plastico	$M_{pl,Rd} = T * h_{eff} = 22108.45 * 24.3 = 5372,35 \text{ daN*m}$
Momento sollecitante	$M_{ed} = 885,74 \text{ daN*m}$
Verifica	$M_{pl,Rd} = 5372,35 \text{ daN*m} > M_{ed} = 885,74 \text{ daN*m}$

CONCLUSIONI

Sulla base sia delle indagini svolte che dei risultati ottenuti, anche tenendo conto delle ipotesi semplificative in largo favore di sicurezza assunte nel calcolo si può concludere che:

Gli elementi strutturali del muro d'argine risultano ampiamente verificati agli SLU, per quanto riguarda gli spostamenti nelle direzioni X, Y, Z agli SLE non determinano particolari criticità dal punto di vista deformativo per la struttura.

Per il dettaglio delle verifiche si rimanda al fascicolo dei calcoli allegato.

In fede il Progettista delle Strutture

Dot.Ing. Paolo Edoardo Giusti



A circular professional stamp in purple ink. The outer ring contains the text "INGEGNERI DELLA PROV. DI MASSA-CARRARA". The inner part of the stamp contains the text "Dott. Ing. PAOLO EDOARDO GIUSTI" and "N° 387". A handwritten signature in blue ink is written over the stamp.