



00	Novembre 2014	PRIMA EMISSIONE	S.J.S. Engineering s.r.l.
REVISIONE	DATA	MOTIVAZIONE	PROPONENTE

Stazione appaltante  <p style="text-align: center;">AUTORITA' PORTUALE DI TRIESTE</p>				
Incarico <p style="text-align: center;">PORTO DI TRIESTE - TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m</p>				
Livello progettuale <p style="text-align: center;">PROGETTO DEFINITIVO</p>				
Soggetto attuatore 	Titolo <p style="text-align: center;">RELAZIONE DI CALCOLO DELLA PAVIMENTAZIONE PORTUALE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO</p>		Area code <p style="text-align: center;">0129 TST</p>	
			Title code <p style="text-align: center;">01027-00</p>	
			Check <p style="text-align: center;">R06</p>	Job code <p style="text-align: center;">C-01</p>
Progettazione S.J.S. Engineering s.r.l.  <p>*Roma (00187) Via Collina, n. 36 Taranto (74123) P.zza Castel S. Angelo, n.11 Mosca (123242) Krasnaya Presnaya st. 22 - Ufficio 3</p> <p>Certified office* COMPANY WITH QUALITY SYSTEM CERTIFIED BY DNV = ISO 9001 =</p>	Il Responsabile del Procedimento 	Il Direttore Tecnico Ing. Michelangelo Lentini	Progettisti Ing. B. Lentini Ing. A. Porretti Ing. R. Isola Ing. M. Filippone Dott. Geol. G. Cardinali Dott.ssa V. Colosimo Ing. L. Drago Ing. P. Semeraro	
Edited <p style="text-align: center;">Drago</p>	Checked <p style="text-align: center;">ML</p>	Date <p style="text-align: center;">Novembre 2014</p>	Filename <p style="text-align: center;">0129TST01027-00-R06.doc</p>	

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 1	Di 59

INDICE

1. PREMESSA ED OBIETTIVI DEL LAVORO	5
2. LA PAVIMENTAZIONE ESISTENTE	6
3. LA PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO	7
3.1 Stratigrafia	7
3.2 Modalità realizzative della pavimentazione e specifiche tecniche di fornitura	8
3.2.1 Formazione di strati di fondazione in misto cementato.....	8
3.2.2 Controlli.....	14
3.3 Tappeto in asfalto-cemento.....	16
3.3.1 Asfalto poroso.....	16
3.3.2 Inerte per open grade.....	17
3.3.3 Filler per open grade.....	18
3.3.4 Bitume modificato.....	18
3.3.5 Open grade asfaltico	19
3.3.6 Modalità di posa dell'open grade.....	19
3.3.7 Caratteristiche dell'asfalto saturato con malte microcementizie ad alta resistenza:.....	21
3.3.8 Trattamento stagionante.....	21
4. VERIFICA PAVIMENTAZIONE SEMIRIGIDA.....	22
4.1 Metodologia di calcolo e fattori del dimensionamento	22
4.1.1 Traffico e determinazione del numero di assi in transito	22
4.1.2 Caratteristiche degli strati	23
4.1.3 Metodo di calcolo razionale e verifiche.....	25
4.1.4 Verifica pavimentazione area di stoccaggio.....	29
5. FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	30
6. NORMATIVE DI RIFERIMENTO	32
7. MATERIALI.....	33
7.1 Prescrizione di durabilità del conglomerato cementizio	33
7.1.1 Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del conglomerato.....	33
7.1.2 Prescrizioni per il calcestruzzo	34
7.2 Acciaio per cemento armato ordinario	35
7.3 Descrizione della fondazione di progetto	36

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 2	Di 59

7.4	Verifiche agli stati limite	37
7.4.1	Verifiche agli stati limite ultimi	37
7.4.2	Combinazioni nelle verifiche agli stati limite	37
8.	ANALISI DEI CARICHI	40
8.1	Peso proprio	40
8.2	Azione del vento	41
9.	MODELLO DI CALCOLO	44
9.1	Descrizione del modello di calcolo	44
10.	VERIFICHE DI STABILITÀ	47
11.	VERIFICA STRUTTURALE	48
11.1	Azioni di calcolo	48
11.2	Verifica tirafondi	48
11.3	Armatura plinto in calcestruzzo	51
12.	CONCLUSIONI	59

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 3	Di 59

INDICE TABELLE

Tabella 1 Stratigrafia pavimentazione esistente.....	6
Tabella 2 Aggregato grosso	9
Tabella 3 Aggregato fino.....	9
Tabella 4 Granulometria aggregato misto cementato.....	11
Tabella 5 Resistenze misto cementato.....	11
Tabella 6 Controllo materiali.....	15
Tabella 7 Test strato asfalto-cemento	17
Tabella 8 Curva granulometrica.....	18
Tabella 9 Filler per open grade	18
Tabella 10 Caratteristiche bitume modificato	19
Tabella 11 Valori di resistenza open grade asfaltico	19
Tabella 12 caratteristiche della malta.....	20
Tabella 13 Caratteristiche meccaniche strato asfalto-cemento.....	21
Tabella 14 Normative sui controlli	21
Tabella 15 Caratteristiche dello strato di usura.....	23
Tabella 16 Caratteristiche del bitume da impiegare per l'open grade dello strato di usura	24
Tabella 17 Caratteristiche pavimentazione.....	25
Tabella 18 Modello equivalente degli strati della pavimentazione.....	27
Tabella 19 Tensioni massime di trazione alla base di ciascuno strato	28
Tabella 20 Tensioni massime di trazione alla base di ciascuno strato	29
Tabella 21 Caratteristiche di progetto per le armature delle strutture ordinarie in c.a.....	35
Tabella 22 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU	39
Tabella 23 Valori dei coefficienti di combinazione	39
Tabella 24 Carichi permanenti caratteristici.....	41
Tabella 25 Calcolo azione del vento.....	42
Tabella 26 Riepilogo azioni del vento-valori caratteristici	44
Tabella 27 Combinazioni di carico considerate ai fini delle verifiche geotecniche e strutturali	45
Tabella 28 Sollecitazioni all'estradosso della fondazione:	45
Tabella 29 Reazione risultante sul piano di fondazione.....	46
Tabella 30 Azioni destabilizzanti	47
Tabella 31 Azioni stabilizzanti	47
Tabella 32 Azioni all'estradosso	48

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 4	Di 59

Tabella 33 Azioni alla base.....	48
Tabella 34 Verifica ancoraggio tirafondi.....	50
Tabella 35 Schema tirante -puntone.....	54
Tabella 36 Azioni sezione X-X.....	56

INDICE FIGURE

Figura 1 Punti indagati.....	6
Figura 2 Strati della pavimentazione in progetto	7
Figura 3 Modello con equivalenza tra gli strati	25
Figura 4 Caratteristiche della Torre	31
Figura 5 Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio	36
Figura 6 Pianta e sezione plinto.....	37
Figura 7 Fusto torre faro	40
Figura 8 Sollecitazione sui tirafondi	49
Figura 9 Momenti resistenti alla base del fusto	50
Figura 10 Reazione alla base del plinto.....	51
Figura 11 Geometria del modello	52
Figura 12 Comportamento di mensola tozza	53
Figura 13 Analisi del comportamento tirante puntone	55
Figura 14 Verifica a flessione.....	57
Figura 15 Verifica a taglio.....	58

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 5	Di 59

1. **PREMESSA ED OBIETTIVI DEL LAVORO**

La presente relazione è stata redatta con duplice scopo: per primo, quello di descrivere la tipologia di pavimentazione da prevedersi nell'area dell'ampliamento e nella fascia di 300m a sud del molo, destinata alla viabilità di mezzi pesanti e allo stoccaggio dei container. Secondo, poi, la descrizione del criterio di dimensionamento della fondazione delle torri faro che si andranno ad installare sul nuovo tratto di 100m. Nello specifico, verranno dettagliati la geometria ed i materiali del blocco di fondazione e dei tirafondi di collegamento tra il fusto ed il blocco di calcestruzzo, in ragione delle sollecitazioni trasmesse dal peso proprio delle torri portafaro e dalle azioni accidentali agenti, con particolare riferimento all'azione del vento, particolarmente rilevante nell'area.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 6	Di 59

2. LA PAVIMENTAZIONE ESISTENTE

La pavimentazione esistente è di tipo semirigida, caratterizzata da uno strato di conglomerato bituminoso variabile da 3 a 8 cm, uno strato di calcestruzzo magro per spessori variabili tra 5 e 22 cm ed infine uno strato in misto cementato che insiste sull'estrado della piastra prefabbricata.

Nel prospetto si riportano i dati rilevati in corrispondenza dei punti indagati:

Tabella 1 Stratigrafia pavimentazione esistente

	Punto indagine					
	CA 01	CA 02	CA 03	CA 04	CA 05	CA 06
Conglomerato bituminoso (cm)	8	7	3	6	4	6
Calcestruzzo magro (cm)	5	8	10	16	22	20
Misto cementato (cm)	33	30	33	18	16	9+8*

* Nel punto CA 06 al di sotto del calcestruzzo magro sono presenti 9 cm di pietrame grossolano di diametro massimo 8 cm e 8 cm di misto cementato

I punti C01, C02 e C03 rientrano nell'area realizzata negli anni '80 mentre i punti CA04, CA05 e CA06 in quella degli anni '60.



Figura 1 Punti indagati

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 7	Di 59

3. LA PAVIMENTAZIONE DI PROGETTO

3.1 Stratigrafia

La pavimentazione sul nuovo tratto di molo sarà realizzata in modo tale da garantire la planarità della quota di calpestio su tutta l'area. La quota superficiale dovrà, quindi, essere la stessa di quella del molo adiacente e cioè pari a 2,60 m dal livello medio marino.

Lo spessore della pavimentazione sarà di circa 50cm, con pendenze assegnate per garantire il deflusso delle acque di pioggia; la pavimentazione verrà stesa sulla piastra che, mediamente, garantiscono una continuità superficiale di 2,10m s.l.m.m.

Per effetto dei carichi agenti, si è previsto un pacchetto costituito come segue:

- strato di usura di 4 cm ad alta resistenza, costituito da open grade asphaltico intasato con boiacche microcementizie ad alta resistenza (pavimentazione asfalto-cementizia);
- strato di conglomerato bituminoso aperto (binder) dello spessore di 6 cm;
- strato di base in misto cementato dello spessore di 40 cm;

Lo strato di fondazione sarà costituito dalla soletta superiore della piastra prefabbricata appoggiata sui pali. Lo spessore della soletta sarà pari a 26 cm, realizzata in calcestruzzo C 35/45 armato.

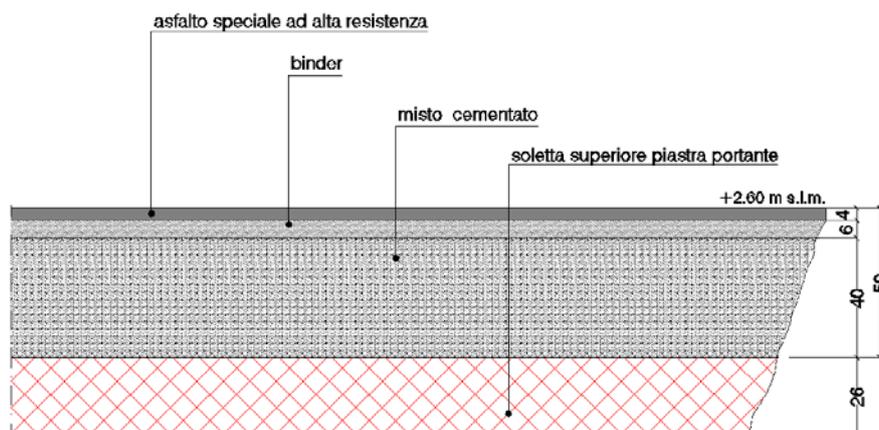


Figura 2 Strati della pavimentazione in progetto

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 8	Di 59

All'interno della pavimentazione verranno allocati tutti i sottoservizi e le reti nonché i giunti delle strutture portanti, secondo quanto previsto dal calcolo delle strutture costituenti l'impalcato a giorno

La pendenza sarà variabile tra l'1 ed il 2 ‰, necessaria a garantire il deflusso delle acque meteoriche di piattaforma.

Questa pendenza verrà garantita dalla variabilità dello spessore dello strato in misto cementato, mentre rimarrà costante lo spessore dello strato superficiale in conglomerato bituminoso.

La geometria dell'area da pavimentare e le sezioni corrispondenti sono riportate negli elaborati grafici 0129TST01081 -0129TST01086.

3.2 Modalità realizzative della pavimentazione e specifiche tecniche di fornitura

3.2.1 Formazione di strati di fondazione in misto cementato

Il misto cementato è costituito da una miscela di aggregati lapidei (misto granulare), trattata con un legante idraulico (cemento). La miscela deve assumere, dopo un adeguato tempo di stagionatura, una resistenza meccanica durevole, apprezzabile mediante prove eseguibili su provini di forma assegnata, anche in presenza di acqua o gelo.

La resistenza a compressione del misto cementato deve essere compresa tra 5 e 7 MPa a 7 gg. e 8 – 12 MPa a 28 gg. (T= 20°C).

La resistenza a compressione, qualora si faccia ricorso a materiali di riuso del cantiere, deve essere compresa tra 3.5 – 5.0 MPa a 7 gg. e 6 – 9 MPa a 28 gg. (T= 20°C).

3.2.1.1 MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE

Aggregati

Gli aggregati sono degli elementi lapidei che, se miscelati, realizzano il misto granulare che costituisce la base del misto cementato.

Essi risultano composti dall'insieme di aggregati grossi (trattenuti al crivello UNI n. 5) e di aggregati fini.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 9	Di 59

Aggregato grosso

L'aggregato grosso è generalmente costituito da elementi ottenuti mediante frantumazione di rocce lapidee o da elementi naturali tondeggianti di provenienza o natura petrografia diversa purchè, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nella Tabella che segue.

Tabella 2 Aggregato grosso

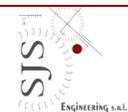
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Los Angeles	CNR 34/73	%	30
Quantità di frantumato			30
Dimensione max	CNR 23/71	%	40
Sensibilità al gelo ³	CNR 80/80	%	30
Passante al setaccio 0.0075	CNR 75/80	%	1
Contenuto di:			
- Rocce reagenti con alcali del cemento		%	1

Aggregato fino

L'aggregato fino deve essere costituito da elementi naturali o di frantumazione tali da garantire le caratteristiche riassunte nella tabella sottostante.

Tabella 3 Aggregato fino

Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Equivalentente in sabbia	CNR 27/72	%	30; 60
Limite Liquido	CNR-UNI 10014	%	25
Indice Plastico	CNR-UNI 10014	%	NP
Contenuto di:			
- Rocce tenere, alterate o scistose	CNR 104/84	%	1

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 10	Di 59

Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
- Rocce degradabili o solfatiche	CNR 104/84	%	1
- Rocce reagenti con alcali del cemento	CNR 104/84	%	1

Ai fini dell'accettazione, prima dell'inizio dei lavori, l'impresa è tenuta a predisporre la qualificazione degli aggregati tramite certificazione attestante i requisiti prescritti. La certificazione deve essere rilasciata da un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Cemento

Il cemento è un legante idraulico, cioè un materiale inorganico finemente macinato che, mescolato con acqua, forma una pasta che rapprende e indurisce a seguito di processi e reazioni di idratazione e che, una volta indurita, mantiene la sua resistenza e la sua stabilità anche sott'acqua.

Il cemento utilizzato è del tipo CEM II/A-L, classe 32.5 R (norma Uni En 197-1).

- RESISTENZA A COMPRESSIONE 3 - 4.3 (MPa)
- RESISTENZA A TRAZIONE (BRASILIANA) 0.3 — 0.8 (MPa).

La certificazione dovrà essere rilasciata dall'istituto Centrale per la Industrializzazione e la Tecnologia Edilizia (I.C.T.E.), o da altri organismi autorizzati ai sensi del D.M. 12/07/93 n. 314.

Acqua

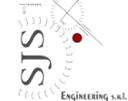
Per la miscelazione e la compattazione va usata acqua potabile, esente da impurità dannose, oli, acidi, alcali, materia organica, frazioni limo-argillose e da qualsiasi altra sostanza nociva.

La quantità d'acqua presente nell'impasto dovrà variare da 80 a 120 l./m³ in funzione del grado di umidità presente negli aggregati. Il rapporto acqua/cemento dovrà essere compreso tra 0,90 e 1,35.

Aggiunte

Le aggiunte sono materiali inorganici, finemente macinati, da aggiungersi al calcestruzzo per modificarne le caratteristiche o ottenerne di speciali.

Sarà ammesso l'utilizzo di ceneri volanti, conformi alla norma UNI EN 450, sia ad integrazione dell'aggregato fine sia in sostituzione del cemento. La quantità in peso di ceneri da aggiungere, in

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 11	Di 59

sostituzione del cemento, per ottenere pari caratteristiche meccaniche, dovrà essere stabilita con prove di laboratorio, nella fase di studio delle miscela e comunque non potrà superare il 40% del peso di cemento indicato in prima istanza.

Miscela

La miscela di aggregati (misto granulare) da adottarsi per la realizzazione del misto cementato dovrà presentare la seguente curva granulometrica:

Tabella 4 Granulometria aggregato misto cementato

Setacci (quadrati)	% passante (tipo 1)	% passante (tipo 2)
37.5 mm	100	100
32.0 mm	100	90-100
25.0 mm	90-100	80-100
19.0 mm	75-100	70-90
12.5 mm	60-80	58-75
9.5 mm	52-70	50-68
4.75 mm	35-55	36-50
2.00 mm	22-42	24-37
0.425 mm	12-25	12-24
0.075 mm	5-12	5-12

Il contenuto di cemento, delle eventuali ceneri volanti dosate in sostituzione del cemento stesso, ed il contenuto d'acqua della miscela dovranno essere espressi come percentuale in peso rispetto al totale degli aggregati costituenti il misto granulare di base.

Tali percentuali dovranno essere stabilite in base ad uno studio della miscela, effettuato in laboratorio, secondo quanto previsto dal B.U. CNR n. 29, in particolare le miscele adottate dovranno possedere i requisiti riportati nella seguente tabella.

Tabella 5 Resistenze misto cementato

Parametro	Normativa	Valore
Resistenza a compressione a 7 gg	CNR 29/72	2,5 4,5 N/mm ²
Resistenza a trazione indiretta a 7 gg (prova Brasiliana) ⁵	CNR 97/84	0,25 N/mm ²

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 12	Di 59

Per particolari casi, sarà facoltà della Direzione Lavori accettare valori di resistenza a compressione fino a 7.5 N/mm².

Nel caso in cui il misto cementato debba essere impiegato in zone in cui sussista il rischio di degrado per gelo-disgelo, sarà facoltà della Direzione Lavori richiedere che la miscela risponda ai requisiti della norma SN 640 59a.

3.2.1.2 CONFEZIONAMENTO DELLE MISCELE

Il misto cementato dovrà essere confezionato mediante impianti fissi automatizzati, di idonee caratteristiche, mantenuti sempre perfettamente funzionanti in ogni loro parte.

L'impianto dovrà comunque garantire uniformità di produzione ed essere in grado di realizzare miscele rispondenti a quelle indicate nello studio presentato ai fini dell'accettazione.

La zona destinata allo stoccaggio degli aggregati dovrà essere preventivamente e convenientemente sistemata per evitare la presenza di sostanze argillose e ristagni di acqua che possano compromettere la pulizia degli aggregati. I cumuli delle diverse classi dovranno essere nettamente separati tra di loro e l'operazione di rifornimento nei pre-dosatori eseguita con la massima cura. Non sarà consentito il mescolamento di cementi diversi per tipo, classe di resistenza o provenienza. Il cemento e le aggiunte dovranno essere adeguatamente protetti dall'umidità atmosferica e dalle impurità.

La capacità produttiva dell'impianto del misto cementato dovrà essere superiore a 50 m³/ora e dovrà essere dotato del controllo del peso di ciascun componente. Il tempo di miscelazione corrisponderà a circa due minuti per impasto. La perdita di umidità del misto cementato, dal momento della produzione al momento dello scarico, non dovrà essere superiore all' 1 %.

3.2.1.3 PREPARAZIONE DELLE SUPERFICI DI STESA

La miscela dovrà essere stesa sul piano finito dello strato precedente, previa verifica della Direzione Lavori circa la rispondenza di quest'ultimo ai requisiti prescritti. Ogni depressione o avvallamento presente sul piano di posa dovrà essere corretta prima della stesa. Prima della stesa dovrà inoltre essere verificato che il piano di posa sia sufficientemente umido e, se necessario, provvedere alla sua bagnatura evitando la formazione di una superficie fangosa.

3.2.1.4 POSA IN OPERA DELLE MISCELE

La stesura del misto cementato potrà essere realizzata in due fasi successive, ognuna con uno spessore pari a 20cm. La stesura avverrà tramite motograder o vibrofinitrice con controllo laser e verrà immediatamente compattato con rullo vibrante fino ad ottenere la massima compattazione.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 13	Di 59

Sulla superficie finita del misto cementato non saranno ammessi scostamenti superiori a +/- 10 mm dalle quote di progetto (max +/- 4,5 mm sotto regolo di 4 metri (DIN 18202). In caso di scostamenti superiori, l'appaltatore dovrà rifare il lavoro a proprie spese.

La posa del misto cementato sarà eseguita quando la temperatura atmosferica e quella della superficie saranno comprese tra + 5°C e + 30°C tramite motograder o vibrofinitrice , in ogni caso con controllo laser. La superficie del misto cementato dovrà essere protetta da pioggia, sole, vento.

Lo strato di misto cementato sarà compattato fino al raggiungimento della densità di riferimento del campione, certificato presso il laboratorio ufficiale. Il risultato dei test di compattazione dovrà essere uguale o superiore al 95% della densità di riferimento.

Nessun singolo valore dovrà essere inferiore al 93%.

Il tempo intercorrente tra la stesa di due strisce affiancate non dovrà superare, di norma, le due ore perchè sia garantita la continuità della struttura.

Particolari accorgimenti dovranno adottarsi nella formazione dei giunti longitudinali che andranno protetti con fogli di polietilene o materiale simile. Il giunto di ripresa dovrà essere ottenuto terminando la stesa dello strato a ridosso di una tavola e togliendo la tavola al momento della ripresa della stesa. Se non si farà uso della tavola si dovrà, prima della ripresa della stesa, provvedere a tagliare l'ultima parte dello strato precedente, in modo che venga ottenuta una parete perfettamente verticale. Non dovranno essere eseguiti altri giunti all'infuori di quelli di ripresa.

3.2.1.5 EMULSIONE BITUMINOSA PROTETTIVA

La fornitura e posa della bitumazione protettiva – emulsione alcalina al 50% - verrà eseguita mediante spruzzo sullo strato finito di misto cementato. La bitumazione dovrà essere eseguita immediatamente dopo aver realizzato la finitura di ogni singola area di misto cementato al fine di proteggerla da una eccessiva evaporazione. La superficie del misto cementato dovrà essere mantenuta umida fino all' applicazione della bitumazione protettiva. Il consumo dell'emulsione dovrà essere compreso tra 0,5 e 0,7 kg/mq.

3.2.1.6 RULLATURA DI "DETENSIONAMENTO" DEL MISTO CEMENTATO – DESTRESSING

Ogni campitura di misto cementato quotidianamente dovrà essere rullata quotidianamente almeno altre 3 volte nell'arco dei 10 giorni immediatamente successivi alla sua stesura. La rullatura avverrà con apposito rullo gommato al fine di creare una serie di microfessure nell'intero spessore dello strato di misto cementato e di abbassare contestualmente il valore del modulo di

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 14	Di 59

elasticità del misto cementato, da 6000 MPa a circa 1500 MPa. La scelta delle date di esecuzione e del numero di passaggi del rullo sarà indicata dalla DL in funzione della temperatura ambientale.

L'appaltatore dovrà approntare un piano di rullatura per ogni sezione di produzione quotidiana e sottoporlo alla DL.

3.2.2 Controlli

Il controllo della qualità dei misti cementati e della loro posa in opera, dovrà essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali, sulla miscela prelevata al momento della stesa, sulle carote estratte dalla pavimentazione e anche mediante prove in situ.

L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicati nella tabella 6.

Il prelievo del misto cementato fresco dovrà avvenire in contraddittorio, al momento della stesa.

Sui campioni dovranno essere effettuati, presso un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti, i controlli della percentuale di cemento e della distribuzione granulometria dell'aggregato. I valori misurati in sede di controllo dovranno essere conformi a quelli dichiarati nella documentazione presentata prima dell'inizio dei lavori. Per la determinazione del contenuto di cemento, si farà riferimento alla norma UNI 6395⁶.

Lo spessore dello strato dovrà essere determinato, per ogni tratto omogeneo di stesa, facendo la media delle misure (quattro per ogni carota) rilevate sulle carote estratte dalla pavimentazione, scartando i valori con spessore in eccesso, rispetto a quello di progetto, di oltre il 5%. Per spessori medi inferiori a quelli di progetto verrà applicata, per tutto il tratto omogeneo, una detrazione del 2,5 % del prezzo di elenco e, per ogni millimetro, imposta la rimozione dello strato e la successiva ricostruzione a spese dell'impresa.

A compattazione ultimata, la densità in sito, nel 95% dei prelievi, non dovrà essere inferiore al 98% del valore di riferimento (ottimo) misurato in laboratorio sulla miscela di progetto e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Le misure della densità dovranno essere effettuate secondo quanto previsto dal B.C. CNR n. 22. Per valori di densità inferiori a quello previsto, verrà applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore fa riferimento; in particolare:

- 1) Del 10 % dell'importo dello strato e del pacchetto sovrastante, per densità in sito comprese tra 95 e 98 % del valore di riferimento;
- 2) Del 20 % dell'importo dello strato e del pacchetto sovrastante, per densità in sito comprese tra 92 e 95 % del valore di riferimento.

La misura della portanza dovrà accertare che le prestazioni dello strato finito soddisfino le richieste degli elaborati di progetto e siano conformi a quanto riportato, prima dell'inizio dei lavori, nella documentazione presentata dall'impresa. La metodologia di indagine impiegata

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 15	Di 59

dovrà essere tale da fornire parametri di controllo identici, o comunque direttamente confrontabili, con quelli utilizzati nel calcolo della pavimentazione. A tale scopo, sono ammesse sia prove effettuate direttamente sullo strato (prove di carico su piastra), che prove sullo strato ricoperto.

Al momento della costruzione degli strati di pavimentazione sovrastanti, la media dei valori di portanza del misto cementato, su ciascun tronco omogeneo, non dovrà essere inferiore a quella prevista in progetto. Per misure di portanza inferiori del 10 % rispetto ai valori di progetto, al misto cementato ed a tutti gli strati sovrastanti verrà applicata una detrazione del 10 % del prezzo. Per carenze fino al 20 %, al misto cementato ed a tutti gli strati sovrastanti verrà applicata una detrazione del 20% del prezzo, mentre per carenze superiori al 20%, il tratto considerato dovrà essere demolito e ricostruito.

Se lo strato risulterà già sanzionato per carenze dovute agli strati inferiori, la detrazione sarà applicata solo per l'eventuale differenza, estesa agli strati sovrastanti.

Tabella 6 Controllo materiali

Controllo dei materiali e verifica prestazionale			
TIPO DI CAMPIONE	UBICAZIONE PRELIEVO	FREQUENZA	REQUISITI RICHIESTI
Aggregato grosso	Impianto	Settimanale oppure ogni 2500 m ³ di stesa	Riferimento Tabella 2
Aggregato fino	Impianto	Settimanale oppure ogni 2500 m ³ di stesa	Riferimento Tabella 3
Acqua	Impianto	Iniziale	Riferimento Par. 3.2
Cemento	Impianto	Iniziale	Riferimento Par. 3.2
Aggiunte	Impianto	iniziale	Riferimento Par. 3.2
Misto cementato fresco	Vibrofinitrice	Giornaliera oppure ogni 5000 m ² di stesa	Curva granulometrica di progetto; Contenuto di cemento
Carote per spessori	Pavimentazione	Ogni 100m di fascia di stesa	Spessore previsto in progetto
Strato finito (densità in sito)	Strato finito	Giornaliera oppure ogni 5000 m ² di stesa	98% del valore risultante dallo studio della miscela
Strato finito (portanza)	Strato finito o pavimentazione	Ogni 100 m di fascia stesa	Prestazioni previste in progetto

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 16	Di 59

3.3 Tappeto in asfalto-cemento

Il sistema "Densiphalt", o similari, previsto consiste in un particolare tappeto di asfalto tipo OPEN GRADE, i cui vuoti verranno successivamente saturati con una malta iperfluida a base di cemento ad elevatissime resistenze meccaniche (Densiphalt-Malta).

Il tappeto in asfalto verrà applicato su strati conglomerato bituminoso e/o misto cementato.

Lo spessore di applicazione del sistema sarà variabile in funzione dei carichi cui sarà sottoposto; normalmente la variazione è compresa tra 30 e 50 mm.

3.3.1 Asfalto poroso

La fornitura e la posa in opera del manto d'usura di tipo "OPEN GRADE", avente una percentuale di vuoti compresa tra il 25% ed il 30%, dovrà essere eseguita con vibrofinitrice a controllo laser e cilindrato con rullo (non vibrante) del peso massimo di 10 t (max 40 kg/cm²) per uno spessore finito di cm 4 e previa stesura di emulsione bituminosa in ragione di circa 0,3 – 0,5 kg/mq. Sulla superficie finita dell'asfalto open grade non saranno ammessi scostamenti superiori a +/- 10 mm dalle quote di progetto (max +/- 4,5 mm sotto regolo di 4 metri (DIN 18202). In caso di scostamenti superiori, l'appaltatore dovrà rifare il lavoro a proprie spese.

I campioni dei materiali che si intendono usare nella produzione dell'asfalto open grade dovranno essere mandati presso laboratori qualificati al fine di testarne la loro idoneità.

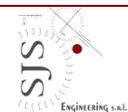
Almeno 40 giorni prima della data di inizio della produzione dell'asfalto open grade e dopo l'avvenuta approvazione degli aggregati, delle fibre di cellulosa, del filler e del bitume da parte della DL, l'appaltatore dovrà sottoporre la formulazione completa alla direzione lavori.

L'asfalto open grade dovrà avere una percentuale di vuoti compresa tra il 25% e il 30% (AASHTO T 269). In nessun caso saranno accettati campioni con una percentuale di vuoti inferiore al 25%.

La vibrofinitrice dovrà essere dotata di controllo laser e riscaldatore di giunti ad infrarossi.

Solo 28 giorni prima della data di inizio della posa dell'asfalto open grade, l'appaltatore realizzerà una area di prova, larga due strisce e lunga 20 metri. L'area di prova sarà realizzata nei pressi del cantiere.

Ogni area di prova dovrà essere realizzata in perfetta aderenza alla formulazione di riferimento ed alle modalità applicative prescritte per l'esecuzione del lavoro. L'area di prova servirà a verificare l'adeguatezza della formulazione (densità – contenuto di vuoti – ecc.), dell'impianto di produzione, della posa e della compattazione così come dell'idoneità dei metodi e dell'organizzazione generale. Se l'area di prova risponderà ai requisiti richiesti, la formulazione potrà essere approvata. Il costo per l'esecuzione delle aree di prova sarà a carico dell'appaltatore.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 17	Di 59

Le aree di prova dovranno essere rimosse se richiesto dalla DL. L'adesione tra lo strato di misto cementato e lo strato di asfalto open grade non dovrà essere inferiore a 0,3 MN/m² (test di adesione).

L'asfalto open grade dovrà essere posato solo con temperature superiori a 10°C e in assenza di nebbia, pioggia, polvere e vento. I giunti longitudinali dovranno essere eseguiti previo preriscaldamento ad infrarossi della precedente striscia di vibrofinitrice, in modo da ottenere una superficie regolare.

I controlli di produzione dovranno rappresentare la produzione quotidiana di asfalto open grade. Per ognuna di queste sezioni quotidiane saranno eseguiti i seguenti test:

Tabella 7 Test strato asfalto-cemento

Testing Item	Testing Method	Frequency for tests
Bituminous Mix		
Marshall volumetric ata: VMA, V _a , VFA, Marshall Mix density		Each day
Extraction	AASHTO T164	Each day and per 500 t
Grading	AASHTO T30	Each day and per 500 t
Max. Specific Gravity	AASHTO T209	Each day and per 500 t
Cores		
Air Voids		Come da formulazione approvata
Density	AAHTO T 166	Come da formulazione approvata

3.3.2 Inerte per open grade

Per questo strato, dovranno essere impiegati esclusivamente inerti frantumati. Per inerte frantumato si intende un inerte che non abbia facce arrotondate. La perdita in peso alla prova Los Angeles eseguita sulle singole classi (CNR 34/73) dovrà essere ≤ 20%. Lo spogliamento in acqua a 40°C (CNR B.U. n° 138/92) con eventuale dopes di adesione dovrà essere dello 0%. La porosità (CNR B.U. 65/78) dovrà essere ≤ 1,5%. Il coefficiente di levigatezza accelerata (C.L.A.) dovrà essere ≥ 0,43 (CNR B.U. 140/92). Il coefficiente di imbibizione, secondo le norme CNR fascicolo IV/1953

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 18	Di 59

dovrà essere $\leq 0,015$. I coefficienti di forma "Cf" ed appiattimento "Ca" (CNR 95/84) dovranno essere ≤ 3 e $\leq 1,58$. La sensibilità al gelo (CNR B.U. 80/80) dovrà essere $\leq 30\%$.

La curva granulometrica degli inerti dovrà rientrare nel fuso granulometrico riportato nella tabella qui di seguito:

Tabella 8 Curva granulometrica

Serie crivelli e setacci UNI 2334 - UNI 2332	Passante totale % in peso
Crivello 20	100
Crivello 15	78-90
Crivello 10	30-40
Crivello 5	6-10
Setaccio 2	6-10
Setaccio 0,4	5-8
Setaccio 0,18	5-8
Setaccio 0,075	4-8

3.3.3 Filler per open grade

Il FILLER, frazione passante al setaccio pari a 0,075 mm, proviene dalla frazione fina degli aggregati; potrà essere costituito da cemento, calce idrata o calce idraulica. In ogni caso il filler, per i conglomerati bituminosi confezionati con bitume modificato, dovrà soddisfare i requisiti di cui alla successiva tabella.

Tabella 9 Filler per open grade

Filler			
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Spogliamento	CNR 138/92	%	≤ 5
Passante allo 0,18	CNR 23/71	%	100
Passante allo 0,075	CNR 75/80	%	≥ 80
Indice di Plasticità	CNR 100/14		N.P.
Vuoti Rigden	CNR 123/88	%	30-45
Stiffening Power Rapporto Filler/bitume = 1,5	CNR 122/88	Δ PA	≥ 5

3.3.4 Bitume modificato

Il legante dovrà essere un bitume di tipo modificato, avente le caratteristiche indicate nella successiva tabella. I bitumi modificati sono bitumi semisolidi contenenti polimeri elastomerici e/o plastomerici che ne modificano la struttura chimica e le caratteristiche fisiche e meccaniche,

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 19	Di 59

prodotti in impianti controllati dotati di idonei dispositivi di miscelazione. Il prelevamento dei campioni di bitume dovrà avvenire in conformità a quanto prescritto dalla Norma CNR n. 81 – 1980.

Tabella 10 Caratteristiche bitume modificato

Bitume			
Parametro	Normativa	Unità di misura	Tipo 50/70
Penetrazione a 25°C	EN 1426, CNR 24/71	dmm	50/70
Punto di rammollimento	EN 1427, CNR 35/73	°C	≥ 70
Punto di rottura (Fraass)	CNR 43/74	°C	≤ -15
Viscosità dinamica a 160°C, $\gamma = 10 \text{ s}^{-1}$	PrEN 13072-2	Pas	≥ 0,2
Ritorno elastico a 25°C	EN 13398	%	≥ 75%
Stabilità allo stoccaggio 3 gg a 180°C	EN 13399	°C	≤ 0,5
Valori dopo RTOFT	EN 12607-1		
Volatilità	CNR 54/77	%	≤ 0,8
Penetrazione residua a 25°C	EN 1426, CNR 24/71	%	≥ 60
Incremento punto di rammollimento	EN 1427, CNR 35/73	°C	≤ 5

3.3.5 Open grade asphaltico

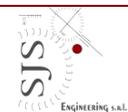
Di seguito si riportano le caratteristiche fondamentali dell'OPEN GRADE ASFALTICO con porosità comunicante aperta 25÷30%:

Tabella 11 Valori di resistenza open grade asphaltico

	Temperatura di prova		
	10°C	25°C	40°C
Resistenza a trazione indiretta (N/mm ²)	0,7÷1,00	0,25÷0,40	0,10÷0,20
Coefficiente di trazione indiretta (N/mm)	≥ 70	≥ 30	≥ 15

3.3.6 Modalità di posa dell'open grade

Si dovrà preparare il piano di supporto con spruzzatura di emulsione bituminosa di tipo modificato come in uso per un normale conglomerato bituminoso e procedere con le operazioni di stesa mediante l'utilizzo di una vibrofinitrice in perfetta efficienza, con tamper e piastra vibrante spenti, stesa di tipo continuo con velocità di avanzamento di 2,5-3 m/minuto evitando discontinuità. I giunti longitudinali tra le strisciate adiacenti dovranno essere realizzati affiancando le strisciate e mai sormontando per evitare zone dell'OPEN GRADE o troppo chiuse o segregate tali da non consentire un omogeneo e valido intasamento con la boiaccia microcementizia di tipo MICROBETON® ASPHALT GROUT o equivalente. La successiva

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 20	Di 59

compattazione dovrà essere eseguita con modalità statica, mediante rullo metallico da 8-10.000 kg, la cui azione permetterà il massimo grado di contatto tra lo spaccato lapideo mantenendo nel contempo i vuoti programmati da intasare. Si eseguono di norma due passaggi del rullo entro 10 minuti dalla stesura con vibro finitrice con temperature di cca 10°C inferiori e quelle della stesura. La risultante percentuale dei vuoti dovrà essere compresa tra il 25% ed il 30%:

- $\leq 25\%$ = conglomerato debole con riempimento insufficiente, con non sufficientemente veloce intasamento, con possibili bollosità superficiali.
- $\geq 30\%$ = conglomerato non sufficientemente flessibile. La percentuale dei vuoti residui intasabili dovrà perciò essere compreso tra il 25% ed il 30%.

Tali caratteristiche dovranno essere sistematicamente controllate con carotaggi. Il rapporto tra la massa volumica del conglomerato in opera non dovrà essere inferiore al 95% di quella dei provini Marshall in laboratorio.

Le caratteristiche della malta da impiegare per la realizzazione dell'intasamento dovranno essere le seguenti:

Tabella 12 caratteristiche della malta

Resistenze meccaniche	MICROBETON® ASPHALT GROUT		MICROBETON® ASPHALT GROUT ALTISSIME RESISTENZE		RAPI-tec® ASPHALT GROUT	
	compr. MPa	fless. MPa	compr. MPa	fless. MPa	compr. MPa	fless. MPa
3 ore	/	/	/	/	30	5
1 giorno	25	4,5	45	6	46	6,4
7 giorni	65	6,6	75	9,5	52	7,9
28 giorni	85	9	105	11,3	58	11,2
90 giorni	95	10,8	115	13,4	68	13,2

Il prodotto dovrà essere miscelato con acqua nelle prescritte proporzioni in adatti miscelatori (TURBO FLOW MIXER continui od altri) e pompato o versato nelle aree da intasare. La boiaccia dovrà essere omogenea, senza grumi, ed avere una viscosità al cono di MARSH Ø 12 mm di 15÷18 secondi. La superficie dovrà essere immediatamente trattata con spazzole o raclee, sia normali che meccaniche, fino ad una superficie omogenea priva di cavità. Eventuali piccole bolle superficiali, formatesi per risalita dell'aria, potranno essere intasate ripassando la superficie con piccole quantità di boiaccia entro 1-2 ore dopo l'applicazione.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 21	Di 59

3.3.7 Caratteristiche dell'asfalto saturato con malte microcementizie ad alta resistenza:

Le caratteristiche fisico-meccaniche che dovranno essere conseguite dall'asfalto ad alta resistenza sono le seguenti:

Tabella 13 Caratteristiche meccaniche strato asfalto-cemento

PARAMETRO	NORMA	VALORE
Massa volumica (g/cmc)	ASTM 2726/88	≥ 2,30
Elastic Stiffness a 20°C (MPa)	EN UNI 12697-26	≥ 7.000
RTI a 20°C (MPa)	CNR BU 97/84	≥ 1,60
Resistenza a compressione (MPa)	EN 12190	≥ 8

3.3.8 Trattamento stagionante

Per la stagionatura, ad insindacabile giudizio della D.L., si dovrà impiegare uno dei due seguenti metodi:

- nella sovrapposizione di teli PE subito dopo le applicazioni. Tali teli sono da rimuovere non prima di 48 ore (24 ore in casi eccezionali)
- nella nebulizzazione d'acqua nell'area per 24÷48 ore. • Tramite applicazione di prodotto antievaporante ad alta efficienza

La finitura della superficie potrà cominciare quando non saranno più visibili le bolle d'aria e prima che si formi una pellicola superficiale. La malta dovrà essere in costante movimento sulla superficie. Quando l'asfalto open grade sarà completamente riempito dalla malta, la superficie dovrà essere rasata con racle in gomma al fine di raggiungere una superficie uniforme.

I controlli sulla malta dovranno essere eseguiti secondo AASHTO T 141 o secondo normative decise dalla DL.

Tabella 14 Normative sui controlli

Cement Mortar		
Compressive Strength	AASHTO T106	Each Batch Delivery of Powder
Density	AASHTO T121	Each Batch Delivery of Powder

Ogni carico di malta potrà essere sottoposto, a richiesta della DL, a verifica delle caratteristiche richieste presso un laboratorio ufficiale e, se non rispondente, rifiutato come non conforme.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 22	Di 59

Lo stabilimento di produzione della malta dovrà operare in regime di qualità ISO 9001 o equivalente.

4. VERIFICA PAVIMENTAZIONE SEMIRIGIDA

4.1 Metodologia di calcolo e fattori del dimensionamento

La tipologia di pavimentazione scelta è di tipo "semirigida", costituita da uno strato di usura tipo "Densiphalt" su uno strato di conglomerato bituminoso di collegamento, sovrastante il misto cementato.

Il calcolo è stato eseguito con il metodo "razionale" in alternativa ai metodi semi-empirici e al catalogo delle pavimentazioni predisposto dal C.N.R., che per loro natura non sono idonei al tipo di intervento che occorre eseguire.

Per il dimensionamento degli strati costituenti la sovrastruttura, occorre conoscere le caratteristiche del materiale di sottofondo che, nel caso specifico, è costituito dalla soletta superiore della piastra, avente spessore pari a 26 cm, di calcestruzzo armato. Questa configurazione conferisce elevata rigidità allo strato di sottofondo, caratterizzato dai seguenti parametri meccanici:

- $\gamma_{cls}=2.500 \text{ kg/mc}$;
- $E_{cls}=30.000 \text{ N/mm}^2$
- ν (coefficiente di Poisson)=0,20

4.1.1 Traffico e determinazione del numero di assi in transito

Per le nuove pavimentazioni, si è assunta una vita utile pari a 20 anni con incremento annuo del traffico merci stimato al 2%.

L'intervento riguarda l'obiettivo di realizzare una parte di terminal altamente performante grazie all'introduzione di nuove linee di transtainer. Per effetto di questa condizione, è naturale aspettarsi, anche in considerazione dell'articolazione dei nuovi accosti, che l'area di nuova realizzazione, pari a circa 40.000mq, sia interessata da un traffico merci pari a **120.000 teus/annui**.

Un TEU (twenty-foot Equivalent Unit) equivalente ad un container standard 20 piedi, ha un peso variabile tra 18270 e 27980 kg, in condizione di massimo carico.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 23	Di 59

Considerando un valore medio di carico pari a 23.125 kg cioè 23,125 t, la quantità di merce complessivamente in transito sull'area è 2.775.000 t/annui.

Considerando sull'asse singolo un carico massimo ammissibile pari a 15 t, si ottiene un numero di passaggi annui, riferiti all'anno zero, pari a:

$$N_0 = 185.000$$

mentre il numero dei cicli di carico equivalenti all'anno finale sarà pari a:

$$N_n = N_0 (1+r)^n = 274.900$$

Dove:

r = tasso annuo di incremento flusso di merci (stimato pari al 2% sulla base dei dati statistici disponibili);

n = 20 anni.

Il numero di assi equivalenti giornaliero, dopo 20 anni, sarà pari a:

$$N_{gn} = N_n / 365 = 753$$

Considerando l'incremento annuo r = 2%, al termine della vita utile (20 anni), il numero di passaggi complessivi sarà pari a:

$$N(20 \text{ anni}) = N_0 \times ((1+r)^n - 1) / r = 4.495.013$$

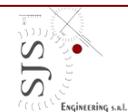
4.1.2 Caratteristiche degli strati

Lo strato di usura dovrà essere costituito da inerte open grade, intasato con boiaccia microcementizia, avente le seguenti caratteristiche finali:

Tabella 15 Caratteristiche dello strato di usura

PARAMETRO	NORMA	VALORE
Massa volumica (g/cmc)	ASTM 2726/88	≥ 2,30
Elastic Stiffness a 20°C (MPa)	EN UNI 12697-26	≥ 7.000
RTI a 20°C (MPa)	CNR BU 97/84	≥ 1,60
Resistenza a compressione (MPa)	EN 12190	≥ 8

Per lo strato di inerte open grade, dovranno essere impiegati esclusivamente inerti frantumati. La perdita in peso alla prova Los Angeles, eseguita sulle singole classi (CNR 34/73), dovrà essere ≤ 20%. Lo spogliamento in acqua a 40°C (CNR B.U. n° 138/92), con eventuale dopes di adesione,

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 24	Di 59

dovrà essere 0%. La porosità (CNR B.U. 65/78) dovrà essere $\leq 1,5\%$. Il coefficiente di levigatezza accelerata (C.L.A.) dovrà essere $\geq 0,43$ (CNR B.U. 140/92). Il coefficiente di imbibizione, secondo le norme CNR, fascicolo IV/1953, dovrà essere $\leq 0,015$. I coefficienti di forma "Cf" ed appiattimento "Ca" (CNR 95/84) dovranno essere ≤ 3 e $\leq 1,58$. La sensibilità al gelo (CNR B.U. 80/80) dovrà essere $\leq 30\%$.

Tabella 16 Caratteristiche del bitume da impiegare per l'open grade dello strato di usura

BITUME			
Parametro	Normativa	Unità di misura	Tipo 50/70
Penetrazione a 25°C	EN 1426, CNR 24/71	Dmm	50/70
Punto di rammollimento	EN 1427, cnr 35/73	°C	≥ 70
Punto di rottura (Fraass)	CNR 43/74	°C	≤ -15
Viscosità dinamica a 160°C, $\gamma = 10 \text{ s}^{-1}$	PrEN 13072-2	Pas	$\geq 0,2$
Ritorno elastico a 25°C	EN 13398	%	$\geq 75\%$
Stabilità allo stoccaggio 3 gg a 180°C	EN 13399	°C	$\leq 0,5$
Valori dopo RTOFT	EN 12607-1		
Volatilità	CNR 54/77	%	$\leq 0,8$
Penetrazione residua a 25°C	EN 1426, CNR 24/71	%	≥ 60
Incremento punto di rammollimento	EN 1427, CNR 35/73	°C	≤ 5

La risultante percentuale dei vuoti dell'open grade dovrà essere compresa tra il 25% ed il 30%.

Lo strato in misto cementato dovrà essere composto di misto di ghiaia o frantumato e sabbia, impastato con acqua e cemento con dosaggio in peso del 3%-3,5% in modo da avere resistenza a compressione non inferiore a 35 daN/cm².

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 25	Di 59

La pavimentazione portuale in progetto dovrà essere caratterizzata da strati e spessori aventi le seguenti proprietà:

Tabella 17 Caratteristiche pavimentazione

Strato	Tipologia	spessore (cm)	peso specifico (kN/mc)	Modulo elastico * (N/mm ²)	Coefficiente Poisson - ν
1	Usura-OPEN GRADE	4	23	7000	0.35
2	Binder-CB	6	22	1500	0.4
3	Misto cementato	40	20	2200	0.25
4	Piastra	26	25	33000	0.2
TOT	PAVIMENTAZIONE	50			

4.1.3 Metodo di calcolo razionale e verifiche

La verifica della pavimentazione è stata effettuata con il metodo del multistrato elastico, esposto da Ivanov, basato sulla teoria dell'elasticità di un mezzo elastico-isotropico e omogeneo, proposta da Boussinesq (1885).

Il metodo suggerito da Ivanov, noto anche come metodo della massima deflessione, si basa sul criterio di limitare la massima deflessione che si verifica sulla pavimentazione al termine della sua vita utile. Il metodo si sviluppa inizialmente attraverso la semplificazione delle espressioni proposte da Boussinesq.

Il metodo introduce un parametro n di equivalenza tra il modulo E_0 del sottofondo e il modulo E_i tale che:

$$n = 2.5 \sqrt{E_i/E_0}$$

Il metodo procede con il calcolo del modulo equivalente E_e , ossia del modulo di uno strato semi-infinito E_e con lo stesso cedimento di uno strato s_i , E_i poggiante su un mezzo semi-infinito E_0

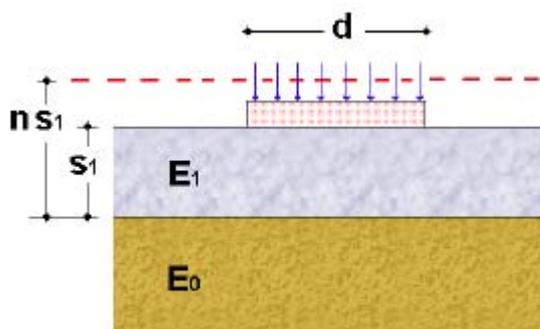


Figura 3 Modello con equivalenza tra gli strati

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 26	Di 59

l'espressione suggerita da Ivanov, per la determinazione del modulo Elastico equivalente, è la seguente:

$$E'_e = \frac{E_0}{1 - \frac{2}{\pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{n^{3.5}}\right) \arctan\left(\frac{ns_1}{2a}\right)}$$

Nel caso di più strati, si procede partendo dallo strato di sottofondo fino allo strato di usura, ottenendo un modulo equivalente **Ee** che deve essere superiore a quello di progetto e determinato attraverso la formula:

Ep=pd/f

Dove:

p = pressione di gonfiaggio del pneumatico in condizioni di moto

d = diametro dell'impronta ed a=d/2.

Nel caso in esame, ponendo d= 30 cm e p= 10kg/cmq, il cedimento massimo ammissibile sotto l'asse di carico, imponendo la freccia massima al termine della vita utile, risulta dipendente dal numero N_{gn} di assi equivalenti secondo l'espressione:

$$f = 017 - 0.026 \log(N_{gn}) = 0,095 \text{ cm} = 0,1 \text{ mm.}$$

con Modulo elastico di progetto Ep=pd/f=3.151 kg/cmq;

N_{gn} = 753 passaggi

Date le caratteristiche degli strati, indicate nella Tabella 17, si riportano nel seguito i calcoli per la determinazione dello strato equivalente e del modulo elastico ad esso corrispondente, partendo dallo strato di sottofondo.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 27	Di 59

Tabella 18 Modello equivalente degli strati della pavimentazione

1'-iterazione-Strato Equivalente	Valore	U.M.
n	0.34	
E3	22000	kg/cmq
E0	330000	kg/cmq
Ee1	25992	kg/cmq
s3	40	cm
a	15	cm
2'-iterazione- Strato Equivalente		
n	0.80	
E2	15000	kg/cmq
Ee1	25,992	kg/cmq
Ee2	23,259	kg/cmq
s2	6	cm
a	15	cm
3'-iterazione- Strato Equivalente		
n	1.55	
E1	70000	kg/cmq
Ee2	23,259	kg/cmq
Ee3	25,910	kg/cmq
s1	4	cm
a	15	cm

Con Modulo elastico equivalente, relativo alla terza iterazione, pari a 25.910 kg/cmq, essendo questa maggiore di $E_p=3.151$ kg/cmq, la verifica di massima deflessione dello strato equivalente risulta soddisfatta.

Per la valutazione dello stato tensionale si sono considerate, invece, le tensioni agenti alla base di ciascuno strato per effetto del carico $q=10$ kg/cmq su un'impronta di diametro $d=30$ cm.

Si sono ricavati gli spessori equivalenti mediante la formula:

$$s_{en} = s_n (E_n/E_{n-1})^{1/2.5} \text{ e}$$

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 28	Di 59

$\sigma_r = q / (1 + (sen/2a)^2)$ pari al valore massimo della trazione in corrispondenza del carico, alla base dello strato i-esimo.

Per ciascuno strato in esame, si è ricavato quanto segue:

Tabella 19 Tensioni massime di trazione alla base di ciascuno strato

Dato	valore	u.m.	σ_r (N/mm ²)
a=d/2	15	cm	
s _{eq-1} (usura)	7.41	cm	0.94
s _{eq-2} (binder)	11.50	cm	0.87
s _{eq-3} (misto cementato)	17.43	cm	0.75

Per lo strato in **conglomerato bituminoso** superficiale, si sono registrate tensioni di trazione massime pari a 0,94 N/mm² (9,4 kg/cm²).

Il tipo di materiale in asfalto cemento scelto per lo strato di usura, garantendo una resistenza a trazione pari a 1,60 N/mm², maggiore di 0,94 N/mm², risulta idoneo all'utilizzo, nell'arco della vita utile prevista di 20 anni.

Per lo strato sottostante, in **misto cementato**, si è determinato un valore dello stato tensionale di trazione pari a 7,5 kg/cm².

Il valore ammissibile di resistenza a trazione dello strato, è stato valutato secondo la relazione (Ferrari P., Giannini F.):

$$\sigma_r = \sigma_n (1 - H \log N)$$

con

$$\sigma_n = \text{resistenza a compressione} = 2,5 \text{ a } 4,5 \text{ N/mm}^2$$

$$N \text{ cicli di carico (20 anni)} = 4.495.013$$

$$H = 0.03 - 0.05$$

Ipotesizzando il valore minimo di resistenza a compressione, risulta una resistenza a trazione

$$\sigma_r = 1.67 \text{ N/mm}^2 > \sigma_{rs} = 0.75 \text{ N/mm}^2$$

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 29	Di 59

4.1.4 Verifica pavimentazione area di stoccaggio

Nelle aree di stoccaggio di piazzale, è prevista la stessa tipologia di pavimentazione analizzata nei paragrafi precedenti. In queste zone, risultano particolarmente sollecitati gli strati superficiali; in particolar modo, lo strato in asfalto-cemento, per effetto dell'appoggio dei container impilati, è soggetto al seguente stato tensionale:

Tabella 20 Tensioni massime di trazione alla base di ciascuno strato

Dato	valore	u.m.
Numero container	4	
Numero appoggi	4	
L1-dimensione appoggio	15	cm
Area singolo appoggio	225	cm ²
Spessore strato usura	4	cm
Lato impronta nella mezzeria dello strato (diffusione a 45°)	19	cm
Area impronta mezzeria strato	361	cm ²

La pressione risultante corrisponde a:

$$\sigma_{\text{cont}} = 23.125 \text{ kg}/361 \text{ cm}^2 = 64,06 \text{ kg}/\text{cm}^2$$

Lo strato superficiale è in grado di sostenere il carico agente e trasferirlo a quelli sottostanti se la resistenza a compressione risulti maggiore del valore tensionale ammissibile. Utilizzando per lo strato di usura un asfalto-cemento con resistenze a compressione non inferiori a 80 kg/cm², è garantita l' idoneità all'uso in quest'area.

La pavimentazione prevista può quindi ritenersi idonea a sostenere i carichi, in relazione anche ai cicli di carico valutati nell'arco della vita utile di 20 anni.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 30	Di 59

5. FONDAZIONE DELLA TORRE FARO

L'impianto di illuminazione dell'ambiente portuale deve rispondere alle esigenze imposte dalle attività svolte nelle singole aree nonché alla Legge Regionale 18/06/2007, n.105 "Misure urgenti in tema di contenimento dell'inquinamento luminoso, per il risparmio energetico nelle illuminazioni per esterni e per la tutela dell'ambiente e dell'attività svolta dagli osservatori astronomici".

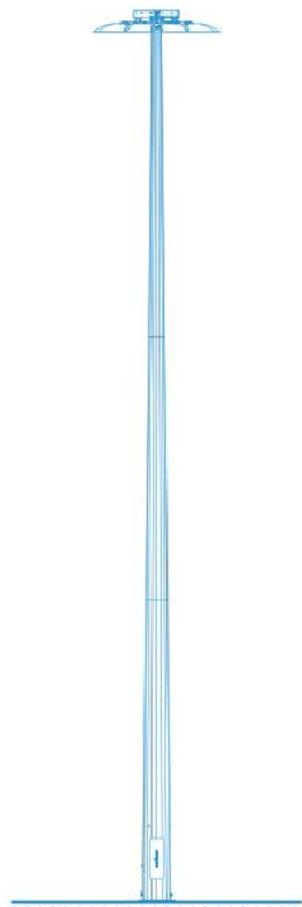
Il livello di visibilità e di confort richiesti, nella maggior parte dei posti di lavoro esterni, dipendono dal tipo e dalla durata dell'attività. Nell'area in questione, insiste un impianto di illuminazione con torri faro a corona mobile, con altezza pari a 35 metri, provvisti di proiettori, dotati di lampade ai vapori di sodio ad alta pressione da 1000 W.

I proiettori saranno disposti nella sommità di un fusto in acciaio con sezione cava e diametro decrescente verso l'alto. Il fusto si prevede incastrato ad un plinto di fondazione mediante una piastra circolare, con tirafondi annegati nel calcestruzzo di fondazione. Il blocco fondale, che poggia direttamente sulle piastre d'impalcato, è stato dimensionato in modo tale da soddisfare le condizioni di stabilità ed in grado di sopportare le diverse sollecitazioni che agiranno sulla struttura.

Le caratteristiche dimensionali e fisiche del palo sono di seguito riportate:

caratteristiche tecniche torrifaro

Torri verificate secondo la norma D.M. 14/01/2008



L	sp1	sp2	d	D	P	S
mm	mm	mm	mm	mm	kg	m ²
20000	4	4	200	440	970	21
20000	4	4	200	520	1060	24
20000	4	4	220	600	1200	27
25000	4	4	200	580	1500	32
25000	4	4	200	650	1600	35
25000	4	4	220	720	1700	38
25000	4	5	240	720	2000	39
30000	4	4	220	700	1950	46
30000	4	5	230	710	2150	47
30000	4	5	240	740	2430	49
30000	4	5	240	820	2700	54
35000	4	5	240	745	2700	57
35000	4	5	240	840	3070	63
35000	4	5	240	910	3300	67

Figura 4 Caratteristiche della Torre

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 32	Di 59

6. NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Le analisi e le verifiche di sicurezza strutturali sono state effettuate sulla base delle vigenti normative sulle costruzioni, di seguito elencate:

Legge 5/11/1971 n. 1086 - Norme per la disciplina delle opere di conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica

Circ. Min. LL.PP. 14/2/1974, n. 11951 - Applicazione della L. 5 novembre 1971, n. 1086

Legge n. 64 del 2/2/1974 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche

D.M. 14/1/2008 (G.U. 4 febbraio 2008 n. 29 – S.O. n. 30) - Norme tecniche per le costruzioni

Circolare 2/2/2009 n. 617 C.S.LL.PP. (G.U n. 47 del 26 febbraio 2009 – S.O. n. 27) - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008

Norma UNI EN 206-1:2006 23/3/2006 - Calcestruzzo – Parte 1: Specificazione, prestazione, produzione e conformità

Norma UNI 11104 - Istruzioni complementari per l'applicazione della EN 206-1

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 - Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Consiglio Superiore Lavori Pubblici - Linee guida per la messa in opera del calcestruzzo strutturale e per la valutazione delle caratteristiche meccaniche del calcestruzzo indurito mediante prove non distruttive.

Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici - Linee Guida sul calcestruzzo preconfezionato

EN 1990: Eurocode - Basis of structural design

EN 1991: Eurocode 1 - Actions on structures

EN 1992: Eurocode 2 - Design of concrete structures

EN 1997: Eurocode 7 - Geotechnical design

EN 1998: Eurocode 8 - Design of structures for earthquake resistance

Norma UNI EN 12464-2 - Illuminazione dei luoghi di lavoro in esterno

CNR-DT 207/2008 - Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 33	Di 59

7. MATERIALI

7.1 Prescrizione di durabilità del conglomerato cementizio

Il Calcestruzzo da impiegare per le fondazioni delle torri faro sarà del tipo a prestazione garantita, in accordo alla UNI EN 206-1, per strutture esposte a nebbia salina, in classe di esposizione XS1 (UNI 11104), R_{ck} 37 N/mm², Classe di consistenza S4/S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm, D_{max} 32 mm, CI 0,4.

7.1.1 Prescrizioni per gli ingredienti utilizzati per il confezionamento del conglomerato

- Acqua di impasto conforme alla UNI-EN 1008
- Additivo superfluidificante conforme ai prospetti 3.1 e 3.2 o superfluidificante ritardante conforme ai prospetti 11.1 e 11.2 della norma UNI-EN 934-2
- Additivo ritardante (eventuale solo per getti in climi molto caldi) conforme al prospetto 2 della UNI-EN 934-2
- Aggregati provvisti di marcatura CE conformi alle norme UNI-EN 12620 e 8520-2. Assenza di minerali nocivi o potenzialmente reattivi agli alcali (UNI-EN 932-3 e UNI 8520/2) o in alternativa aggregati con espansioni su prismi di malta, valutate con la prova accelerata e/o con la prova a lungo termine in accordo alla metodologia prevista dalla UNI 8520-22, inferiori ai valori massimi riportati nel prospetto 6 della UNI 8520 parte 2.
- Cemento CEM IV/B 32.5 ARS conforme alla norma UNI-EN 197-1
- Ceneri volanti e fumi di silice conformi rispettivamente alla norma UNI-EN 450 e UNI-EN 13263 parte 1 e 2.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 34	Di 59

7.1.2 Prescrizioni per il calcestruzzo

In accordo alle Norme Tecniche sulle Costruzioni (D,M.14/01/08) il calcestruzzo dovrà essere prodotto in un impianto dotato di un Sistema di Controllo della Produzione (FPC), in accordo a quanto contenuto nelle Linee Guida sul Calcestruzzo Preconfezionato (2003) certificato da un organismo terzo indipendente autorizzato, con le seguenti caratteristiche:

- Calcestruzzo a prestazione garantita (UNI EN 206-1)
- Classi di esposizione ambientale: XS1
- Rapporto a/c max: 0.50
- Classe di resistenza a compressione minima: C30/37
- Controllo di accettazione: tipo A
- Dosaggio minimo di cemento: 300 Kg/m³
- Aria intrappolata: max. 2,5%
- Diametro massimo dell'aggregato: 32 mm (Per interferri inferiori a 35 mm utilizzare aggregati con pezzatura 20 mm)
- Classe di contenuto di cloruri del calcestruzzo: Cl 0,4
- Classe di consistenza al getto S4/S5 o slump di riferimento 230 ± 30 mm
- Volume di acqua di bleeding (UNI 7122): < 0.1%

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 35	Di 59

7.2 Acciaio per cemento armato ordinario

L'acciaio impiegato per la realizzazione delle opere di c.a. è un Acciaio B450C, zincato a caldo, conforme al punto 11.3.2.9.1 del D.M. 14/01/08 e alla normativa Europea applicabile.

PROPRIETÀ	REQUISITO
Limite di snervamento f_y	≥ 450 MPa
Limite di rottura $f_{7\%}$	≥ 540 MPa
Allungamento totale al carico massimo A_{gt}	$\geq 7,5\%$
Rapporto $f_{7\%}/f_y$	$1,15 \leq R_m/R_e \leq 1,35$
Rapporto $f_{y\text{misurato}}/f_{y\text{nom}}$	$\leq 1,25$

La resistenza di calcolo dell'acciaio (f_{yd}) è riferita alla tensione caratteristica di snervamento dell'acciaio ed è ottenuta dividendo quest'ultima per un coefficiente parziale di sicurezza relativo all'acciaio (γ_s) pari a 1.15.

Tabella 21 Caratteristiche di progetto per le armature delle strutture ordinarie in c.a.

Classe acciaio	f_{yk}	γ_s	f_{tk}	E_s	f_{yd}	ϵ_{yd}	ϵ_{uk}	$(f_y/f_{y,nom})_k$	ϵ_{ud}	$k = (f_t/f_y)_k$	$\sigma_{s,Rara}$	Diametro minimo mandrino di piegatura	
	[MPa]		[MPa]	[MPa]	[MPa]					[MPa]	[MPa]	$\Phi \leq 16\text{mm}$	$\Phi > 16\text{mm}$
B450C	450,00	1,15	540,00	210.000	391,30	0,00186	0,07500	$\leq 1,25$	0,06750	1,15 - 1,35	360,00	4 Φ	7 Φ

Per il diagramma tensione-deformazione dell'acciaio, è stato adottato un modello $\sigma - \epsilon$ elastico, perfettamente plastico, indefinito, illustrato nella figura seguente.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 36	Di 59

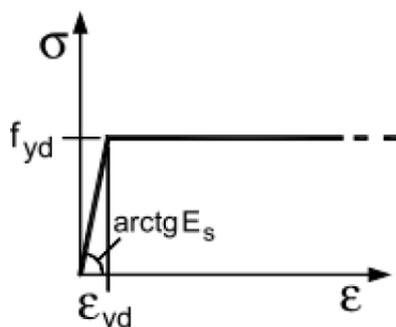


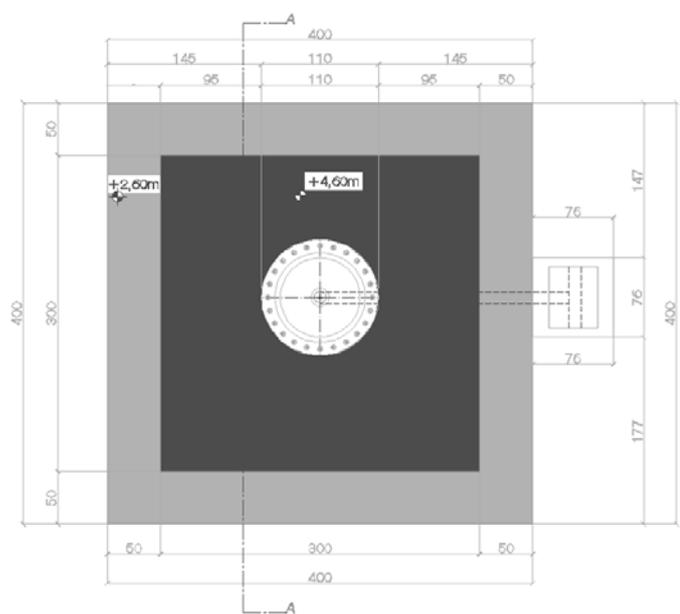
Figura 5 Diagramma tensione-deformazione dell'acciaio

Per il modulo elastico dell'acciaio si è fatto riferimento al valore: $E_s = 210.000 \text{ N/mm}^2$ da cui si ricava il valore della deformazione di snervamento dell'acciaio, pari a $\epsilon_{yd} = 0,20\%$

7.3 Descrizione della fondazione di progetto

La fondazione è stata realizzata nel rispetto del D.M. 14-01-2008 ed Eurocodice 2; l'azione del vento è stata calcolata secondo le disposizioni delle "Istruzioni per la valutazione delle azioni e degli effetti del vento sulle costruzioni" , **CNR-DT 207/2008**.

Le dimensioni del plinto sono riportate in figura:



	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 37	Di 59

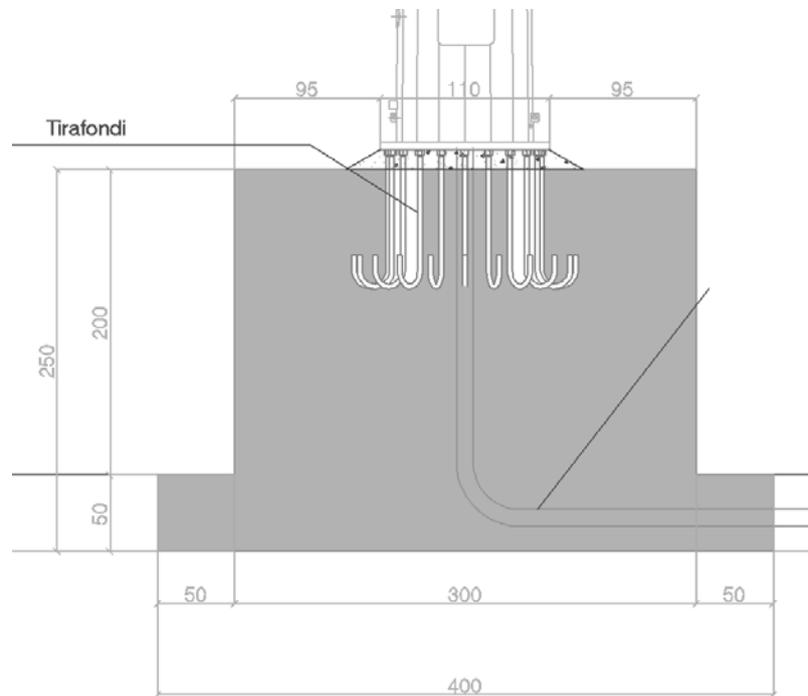


Figura 6 Pianta e sezione plinto

7.4 Verifiche agli stati limite

7.4.1 Verifiche agli stati limite ultimi

Le verifiche agli stati limite ultimi strutturali sono state eseguite definendo, in primo luogo, le combinazioni delle azioni (azioni di calcolo, F_d), valutando le azioni interne (sollecitazioni di calcolo, E_d) nei vari elementi strutturali e calcolando per ognuno di essi le resistenze (resistenze di calcolo, R_d).

La verifica della sicurezza agli stati limite ultimi si ritiene soddisfatta se, per ogni elemento strutturale e per ciascuna delle combinazioni delle azioni prese in esame, risulta:

$$R_d \geq E_d$$

7.4.2 Combinazioni nelle verifiche agli stati limite

Nelle verifiche agli stati limite si distinguono:

- lo stato limite di equilibrio come corpo rigido (EQU);
- lo stato limite di resistenza della struttura, compresi gli elementi di fondazione (STR);

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 38	Di 59

Per ciascuno stato limite, si possono individuare le seguenti combinazioni di carico:

- Combinazione fondamentale, generalmente impiegata per gli stati limite ultimi (SLU):

$$\gamma_{G1} \cdot G_1 + \gamma_{G2} \cdot G_2 + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q1} \cdot Q_{K1} + \gamma_{Q2} \cdot \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \gamma_{Q3} \cdot \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione caratteristica (rara), generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) irreversibili, da utilizzarsi nelle verifiche alle tensioni ammissibili di cui al:

$$G_1 + G_2 + P + Q_{K1} + \psi_{02} \cdot Q_{K2} + \psi_{03} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione frequente, generalmente impiegata per gli stati limite di esercizio (SLE) reversibili:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{11} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione quasi permanente (SLE), generalmente impiegata per gli effetti a lungo termine:

$$G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \psi_{23} \cdot Q_{K3} + \dots$$

- Combinazione sismica, impiegata per gli stati limite ultimi e di esercizio connessi all'azione sismica E:

$$E + G_1 + G_2 + P + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

- Combinazione eccezionale, impiegata per gli stati limite ultimi connessi alle azioni eccezionali di progetto A_d :

$$G_1 + G_2 + P + A_d + \psi_{21} \cdot Q_{K1} + \psi_{22} \cdot Q_{K2} + \dots$$

Nelle combinazioni SLE, non vengono considerati i carichi Q_{kj} , che generalmente danno un contributo favorevole ai fini delle verifiche, ed anche tralasciati i carichi G_2 .

Per le verifiche dello stato limite ultimo di equilibrio come corpo rigido (EQU), si utilizzano i coefficienti parziali γ_f relativi alle azioni riportati nella colonna EQU della seguente tabella:

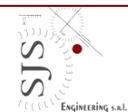
	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 39	Di 59

Tabella 22 Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni nelle verifiche SLU

		Coefficiente γ_F	EQU	A1 STR
Carichi permanenti	favorevoli	γ_{G1}	0,9	1,0
	sfavorevoli		1,1	1,3
Carichi permanenti non strutturali ⁽¹⁾	favorevoli	γ_{G2}	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5
Carichi variabili	favorevoli	γ_{Qi}	0,0	0,0
	sfavorevoli		1,5	1,5

⁽¹⁾Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad esempio carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti si potranno adottare per essi gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

dove:

- γ_{G1} coefficiente parziale del peso proprio della struttura, nonché del peso proprio del terreno e dell'acqua, quando pertinenti;
- γ_{G2} coefficiente parziale dei pesi propri degli elementi non strutturali;
- γ_{Qi} coefficiente parziale delle azioni variabili.

I valori dei coefficienti di combinazione sono i seguenti:

Tabella 23 Valori dei coefficienti di combinazione

Categoria/Azione variabile	Ψ_{0j}	Ψ_{1j}	Ψ_{2j}
Categoria A Ambienti ad uso residenziale	0,7	0,5	0,3
Categoria B Uffici	0,7	0,5	0,3
Categoria C Ambienti suscettibili di affollamento	0,7	0,7	0,6
Categoria D Ambienti ad uso commerciale	0,7	0,7	0,6
Categoria E Biblioteche, archivi, magazzini e ambienti ad uso industriale	1,0	0,9	0,8
Categoria F Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso ≤ 30 kN)	0,7	0,7	0,6
Categoria G Rimesse e parcheggi (per autoveicoli di peso > 30 kN)	0,7	0,5	0,3
Categoria H Coperture	0,0	0,0	0,0
Vento	0,6	0,2	0,0
Neve (a quota ≤ 1000 m s.l.m.)	0,5	0,2	0,0
Neve (a quota > 1000 m s.l.m.)	0,7	0,5	0,2
Variazioni termiche	0,6	0,5	0,0

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 40 Di 59

Nel caso in questione, ci sono coefficienti equivalenti a quelli utilizzati per gli edifici di **categoria E**, ovvero per **ambienti ad uso industriale** e strutture come magazzini.

8. ANALISI DEI CARICHI

8.1 Peso proprio

Le caratteristiche geometriche e i pesi degli elementi costituenti la torre faro sono riportati nelle schede tecniche di riferimento delle torri portafaro.

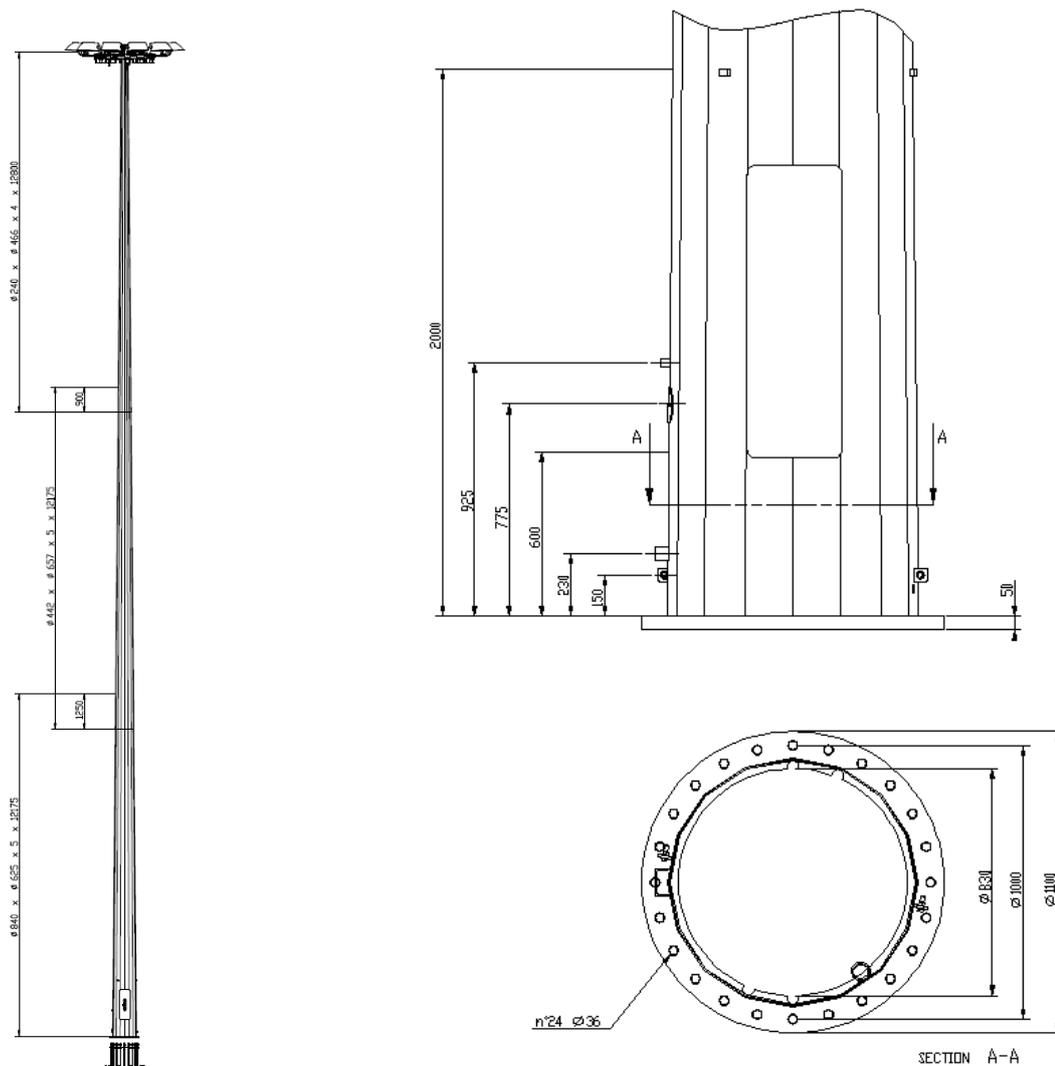
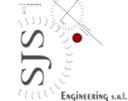


Figura 7 Fusto torre faro

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 41	Di 59

Il fusto e la piastra di base sono realizzati in acciaio S355JR (FE 510B) in conformità alla norma UNI EN 10025, i tirafondi in acciaio S355JR (FE 510B) in conformità alla norma UNI EN 10025, le carpenterie in acciaio S235JR (FE 360B) in conformità alla norma UNI EN 10025 e la bulloneria, classe 6.8, in acciaio zincato.

La protezione superficiale, interna/esterna, è assicurata mediante zincatura a caldo ed è realizzata in conformità alla norma UNI EN ISO 1461.

Nella tabella si riportano i carichi permanenti caratteristici.

Tabella 24 Carichi permanenti caratteristici

Elemento	Peso	H m	Tipologia di carico
Palo	33,00 kN	35	Distribuito - g1k
Blocco fari	5,00 kN		Concentrato - g1k

8.2 Azione del vento

L'azione variabile orizzontale predominante è quella del vento. Questa determina, in corrispondenza del nodo tra fusto ed estradosso del plinto, un'azione tagliante accompagnata da momento; di conseguenza, il modello della struttura è stato schematizzato con un elemento trave incastrato alla base.

Il vento esercita sulla costruzione azioni che variano nel tempo e nello spazio, generando effetti dinamici. La normativa tecnica in vigore permette di considerarle come azioni statiche equivalenti generalmente ricavate dalla formula:

$$p = q_b \times C_e \times C_p \times C_d$$

Nella zona di riferimento, in cui saranno installate le torri faro, la valutazione della pressione cinetica di riferimento q_b e del coefficiente di esposizione C_e è riportata nella tabella che segue:

Tabella 25 Calcolo azione del vento

CALCOLO DELL'AZIONE DEL VENTO

8) Provincia di Trieste

Zona	v _{b,0} [m/s]	a ₀ [m]	k _a [1/s]
8	30	1500	0.01
a _s (altitudine sul livello del mare [m])		0	
T _R (Tempo di ritorno)		100	
$v_b = v_{b,0}$ per $a_s \leq a_0$ $v_b = v_{b,0} + k_a (a_s - a_0)$ per $a_0 < a_s \leq 1500$ m			
v _b (T _R = 50 [m/s])		30.000	
α _R (T _R)		1.03924	
v _b (T _R) = v _b × α _R [m/s]		31.177	



Figura 3.3.1 – Mappa delle zone in cui è suddiviso il territorio italiano

p (pressione del vento [N/mq]) = q_b · c_e · c_p · c_d
 q_b (pressione cinetica di riferimento [N/mq])
 c_e (coefficiente di esposizione)
 c_p (coefficiente di forma)
 c_d (coefficiente dinamico)

Pressione cinetica di riferimento

$$q_b = 1/2 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad (\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3)$$

q _b [N/mq]	607.51
-----------------------	--------

Coefficiente di forma

È il coefficiente di forma (o coefficiente aerodinamico), funzione della tipologia e della geometria della costruzione e del suo orientamento rispetto alla direzione del vento. Il suo valore può essere ricavato da dati suffragati da opportuna documentazione o da prove sperimentali in galleria del vento.

Coefficiente dinamico

Esso può essere assunto autelativamente pari ad 1 nelle costruzioni di tipologia ricorrente, quali gli edifici di forma regolare non eccedenti 80 m di altezza ed i capannoni industriali, oppure può essere determinato mediante analisi specifiche o facendo riferimento a dati di comprovata affidabilità.

Coefficiente di esposizione

Classe di rugosità del terreno

D) Aree prive di ostacoli (aperta campagna, aeroporti, aree agricole, pascoli, zone paludose o sabbiose, superfici innevate o ghiacciate, mare, laghi,....)

Categoria di esposizione

ZONE 1,2,3,4,5						
A	--	IV	IV	V	V	V
B	--	III	III	IV	IV	IV
C	--	*	III	III	IV	IV
D	I	II	II	II	III	**
* Categoria II in zona 1,2,3,4 Categoria III in zona 5						
** Categoria III in zona 2,3,4,5 Categoria IV in zona 1						

ZONA 6					
A	--	III	IV	V	V
B	--	II	III	IV	IV
C	--	II	III	III	IV
D	I	I	II	II	III

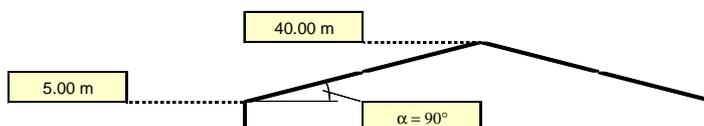
ZONE 7,8			
A	--	--	IV
B	--	--	IV
C	--	--	III
D	I	II	*
* Categoria II in zona 8 Categoria III in zona 7			

ZONA 9		
A	--	I
B	--	I
C	--	I
D	I	I

Zona	Classe di rugosità	a _s [m]
8	D	0

Cat. Esposiz.	k _r	z ₀ [m]	z _{min} [m]	c _t
II	0.19	0.05	4	1

z [m]	c _e
z ≤ 4	1.801
z = 5	1.929
z = 40	3.302



	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 43	Di 59

Si assume cautelativamente pari a 1 il valore del coefficiente dinamico c_{d1} , mentre il coefficiente di forma c_p :

- per torri di sezione circolare si assume pari a 0,7;
- nel caso del blocco fari si assume pari a 2.4.

In questo modo, è stato possibile definire la pressione p del vento, in funzione dell'altezza come riportato:

$$p(z=5\text{ m}) = 765\text{ N/m}^2$$

$$p(z=40\text{ m}) = 1404\text{ N/m}^2.$$

Sul blocco fari agisce poi un carico $p(z=40\text{ m}) = 4814\text{ N/m}^2$.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 44	Di 59

9. MODELLO DI CALCOLO

9.1 Descrizione del modello di calcolo

L'analisi del comportamento strutturale della torre faro è stata effettuata considerando il fusto incastrato alla base mentre la fondazione semplicemente appoggiata sulla piastra, costituente l'impalcato a giorno.

Le combinazioni di carico considerate hanno evidenziato che le azioni orizzontali che maggiormente sollecitano il plinto ed i tirafondi sono quelle del vento, mentre il carico assiale trasmesso all'impalcato è costituito sostanzialmente dal peso proprio del plinto.

Al fine di determinare le massime azioni trasferite al blocco, si è considerato il fusto incastrato alla base con l'azione massima verticale, corrispondente al peso della torre faro combinata all'azione trasversale del vento agente, indifferentemente lungo l'asse x o y, con valore equivalente pari a:

$$q_{eq} = p \times D_f$$

dove p = pressione del vento e D_f = diametro equivalente del fusto = 0,575 m.

Considerando 4 proiettori da 0.35 mq, l'area netta della corona dei fari risulta complessivamente pari a 1.4 mq.

Tabella 26 Riepilogo azioni del vento-valori caratteristici

AZIONE DEL VENTO			
Carico	kN/m	Punto applicazione (m) dalla base del fusto	Punto applicazione (m) dalla base della fondazione
Qunif w (kN/m)	0,44	17,5	22,50
Qtr w (kN/m)	0-0,37	23,33	28,33
Q blocco fari (kNJ)	6,74	35	37,5

Nella tabella seguente si riepilogano le combinazioni di carico considerate ai fini delle verifiche di stabilità e delle verifiche strutturali del blocco di fondazioni previsto:

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 45	Di 59

Tabella 27 Combinazioni di carico considerate ai fini delle verifiche geotecniche e strutturali

COMBINAZIONI	g1k-peso proprio	g1k-blocco fari	q1-vento dir. X o Y
PP (STR)	$\gamma_G=1.3$	$\gamma_G =1.3$	
PP (EQU)	$\gamma_G=0.9$	$\gamma_G =0.9$	
PP+vento dir. X o Y(STR)	$\gamma_G=1.3$	$\gamma_G =1.5$	$\gamma_Q =1.5$
PP+vento dir. X o Y (EQU)	$\gamma_G=0.9$	$\gamma_G =0.9$	$\gamma_Q =1.5$

Le sollecitazioni all'estradosso della fondazione sono riportate in Tabella 28

Tabella 28 Sollecitazioni all'estradosso della fondazione:

Comb	Ns,dmax (kN)	Ms,d (kNm)	Vs,d (kN)
PP (k)	33		
Qv(k)	28,57		
PP (EQU)	29,70		
PP (STR)	42,90		
PP+v dir. x o y (EQU)	29,70	938,19	42,86
PP+v dir. x o y (STR)	42,90	938,19	42,86

Alla base della fondazione si sono calcolate le sollecitazioni risultanti, utilizzate ai fini delle verifiche di equilibrio di corpo rigido (EQU) e delle verifiche strutturali (STR) (Tabella 30).

Il peso proprio del plinto è pari a:

$P_{k,plinto} = V_{plinto} \times \gamma_{cls} = 650 \text{ kN}$ con peso specifico del calcestruzzo posto pari a 25 kN/mc.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 46	Di 59

Tabella 29 Reazione risultante sul piano di fondazione

Combinazioni	Ns,d (kN)	Ms,d (kN)	Vs,d (KN)
PP (EQU)	614,70		
PP (STR)	887,90		
PP+vento dir. X o Y(EQU)	614,70	1090,34	42,86
PP+vento dir. X o Y (STR)	887,90	1090,34	42,86

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 47	Di 59

10. VERIFICHE DI STABILITÀ

Calcolate le caratteristiche delle sollecitazioni più gravose, è stata effettuata la sola verifica di equilibrio di corpo rigido, valutando se il peso proprio del plinto, semplicemente appoggiato sulla piastra, fosse in grado di garantire la stabilità a ribaltamento rispetto al limite perimetrale della fondazione, in presenza dell'azione trasversale del vento.

La verifica a carico limite è stata omessa perchè la portanza fornita dalla soletta superficiale della piastra è in grado di sopportare le pressioni ad essa trasferite dalla fondazione del plinto

Le azioni destabilizzanti sono riportate in Tabella 30.

Tabella 30 Azioni destabilizzanti

Azioni destabilizzanti	Frib (kN)	b (m)	γ -SLU	Mrib-d (kNm)	Vd (kN)
q-vento corona	6.74	37.50	1.5	379.13	10.11
q-vento fusto unifome	15.40	20.00	1.5	462.15	23.11
q-vento fusto triangolare	6.43	25.83	1.5	249.06	9.64
TOT				1090.34	42.86

Il complesso di azioni stabilizzanti, rispetto al punto di rotazione, determina i seguenti momenti stabilizzanti:

Tabella 31 Azioni stabilizzanti

Azioni stabilizzanti	Fstab (kN)	b (m)	Mstab (kNm)	γ -SLU	Mstab-d (kNm)
Plinto	650,00	2,00	1300,00	0.9	1170,00
Fusto+proiettori	33,00	2,00	66	0.9	59,40
TOT					1229,40

Il coefficiente di sicurezza al ribaltamento è dato da:

$$FS (EQU) = Mstab / Mrib = 1.13$$

La verifica di equilibrio di corpo rigido (EQU) risulta quindi soddisfatta.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 48	Di 59

11. VERIFICA STRUTTURALE

11.1 Azioni di calcolo

La normativa tecnica vigente prevede che, le verifiche da condurre ,sugli elementi strutturali che compongono il plinto, prendano in considerazione l'effetto delle azioni con coefficienti amplificativi riportati nel prospetto in Tabella 32

Le azioni Fd agenti all'estradosso ed all'intradosso del plinto sono definite nelle seguenti tabelle:

Tabella 32 Azioni all'estradosso

AZIONI SUL NODO ESTRADOSSO PLINTO (STR)									
Azione	Nk (kN)	Vk (kN)	Mk (kNm)	$\gamma(G1)$	$\gamma(Q)$	ψ	Nd (kN)	Vd (kN)	Md (kNm)
PP-fusto	33	0	0	1.3			42.90		
Vento	0	28.57	655.46		1.5			42.86	983.19

Tabella 33 Azioni alla base

AZIONI SULLA BASE DEL PLINTO (STR)									
Azione	Nk (kN)	Vk (kN)	Mk (kNm)	$\gamma(G1)$	$\gamma(Q)$	ψ	Nd (kN)	Vd (kN)	Md (kNm)
PP-fusto	33	0	0	1.3			42.90		
PP-plinto	650			1.3			845.00		
Vento	0	28.57	726.89		1.5			42.86	1090.34

11.2 Verifica tirafondi

Il collegamento alla base del fusto palo con la fondazione, verà realizzato mediante una piastra circolare del diametro di 1100 mm con n.24 tirafondi S355 del diametro di 36 mm.

Mediante il software VCA-SLU vers. 7.7 del Prof. Gelfi, per la verifica di sezioni preso-inflesse si determinano:

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 49 Di 59

- la massima azione di trazione agente sul tirafondo più sollecitato, che è pari a $\sigma_s=142,90$ N/mm²,

Titolo: Tirafondi-H=35m

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 55 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 24
 Diametro barre: 3.6 [cm]
 Copriferro (baric.): 5.4 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Tipo Sezione

Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Sollecitazioni

S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 42.90 42.90 kN
 M_{xEd}: 983.19 983.19 kNm
 M_{yEd}: 0 0

P.to applicazione N

Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Metodo di calcolo

S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

S355 C32/40

ϵ_{su} : 67.5 ‰ ϵ_{c2} : 2 ‰
 f_{yd} : 308.7 N/mm² ϵ_{cu} : 3.5 ‰
 E_s : 200,000 N/mm² f_{cd} : 18.13
 E_s/E_c : 15 f_{cc}/f_{cd} : 0.8
 ϵ_{syd} : 1.544 ‰ $\sigma_{c,adm}$: 12.25
 $\sigma_{s,adm}$: 240 N/mm² τ_{co} : 0.7333
 τ_{c1} : 2.114

σ_c : -6.115 N/mm²
 σ_s : 142.9 N/mm²
 ϵ_s : 0.7143 ‰
 d: 104.6 cm
 x: 40.9 x/d: 0.391
 δ : 0.9288

Vertici: 52
 Verifica
 N° iterazioni: 4
 Precompresso

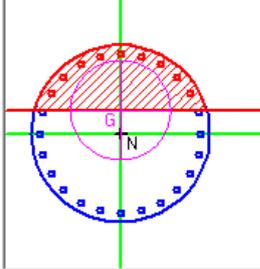


Figura 8 Sollecitazione sui tirafondi

- il momento resistente della sezione di base con numero e diametro dei tirafondi sufficiente, in quanto $M_{rd}=3069$ kNm $>$ $M_{sd} = 1090,34$ kNm.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 50 Di 59

Titolo : Tirafondi-H=35m

Sezione circolare cava

Raggio esterno: 55 [cm]
 Raggio interno: 0 [cm]
 N° barre uguali: 24
 Diametro barre: 3.6 [cm]
 Copriferro (baric.): 5.4 [cm]

N° barre: 0 Zoom

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed}: 42.90 kN
 M_{xEd}: 983.19 kNm
 M_{yEd}: 0

P.to applicazione N:
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN: 0 yN: 0

Tipo rottura:
 Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

M_{xRd}: 3.096 kN m

Materiali

S355 C32/40

ε_{su}: 67.5 % ε_{c2}: 2 %
 f_{yd}: 308.7 N/mm² ε_{cu}: 3.5 %
 E_s: 200,000 N/mm² f_{cd}: 18.13
 E_s/E_c: 15 f_{cc}/f_{cd}: 0.8
 ε_{syd}: 1.544 % σ_{c,adm}: 12.25
 σ_{s,adm}: 240 N/mm² τ_{co}: 0.7333
 τ_{c1}: 2.114

σ_c: -18.13 N/mm²
 σ_s: 308.7 N/mm²
 ε_c: 3.5 %
 ε_s: 8.957 %
 d: 104.6 cm
 x: 29.39 x/d: 0.281
 δ: 0.7912

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Deviata

Vertici: 52 N° rett.: 100
 Calcola MRd Dominio M-N
 L_o: 0 cm Col. modello

Precompresso

Figura 9 Momenti resistenti alla base del fusto

La lunghezza del tirafondo annegato ad è pari a 1000 mm.

Considerando la massima azione di trazione che agisce sul tirafondo agli SLU, determinata con $\sigma_{max} = 142,9 \text{ N/mm}^2$, di seguito si riporta la verifica dell'ancoraggio.

Tabella 34 Verifica ancoraggio tirafondi

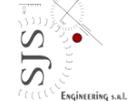
CALCOLO TIRAFONDI (STR)							
L tot mm	L1 (mm)	L2 (mm)	Ares (0.8A) mmq	Ns max (N)	fbs (N/mmq)	fbd (N/mmq)	VERIFICA
1000	1000	0	813.89	116.304,6	1,03	2.19	POSITIVA

Il valore di aderenza agente è pari a :

$$fbs = N / L \cdot \pi = 1,03 \text{ N/mm}^2$$

Con un valore di aderenza fbd per un C32/40 dato dalla:

$$fbd = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot 2 \cdot 2.25 \cdot f_{ctd} = 0.7 \cdot 0.96 \cdot 2 \cdot 2.25 \cdot 1.45 = 2.19 \text{ N/mm}^2 > fbs$$

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 51 Di 59

con $\eta_1=0.7$ (aderenza non ottimale)

$\eta_2=0.96$ (funzione del diametro)

La lunghezza di ancoraggio è pertanto sufficiente.

11.3 Armatura plinto in calcestruzzo

Lo stato tensionale agente alla base del plinto, nella combinazione SLU maggiormente gravosa, è caratterizzato da una forte eccentricità tale che:

$$e = M_d / N_d = 1090,34 / 887,90 = 1.23 > e_0 \text{ con}$$

$$e_0 = B/6 = 4/6 = 0.67.$$

La sezione reagente è pertanto parzializzata.

La massima tensione σ agente sulla soletta della piastra è pari a 197,17 kN/mq

Titolo : Tensioni di base_TF h=35m

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	400	400

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N _{Ed}	0	887.9 kN
M _{xEd}	0	0 kNm
M _{yEd}	0	1090.34

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord. [cm] xN yN

Tipo Sezione
 Rettan.re Trapezi
 a T Circolare
 Rettangoli Coord.

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Materiali

B450C		C32/40	
ϵ_{su}	67.5 ‰	ϵ_{c2}	2 ‰
f_{yd}	391.3 N/mm ²	ϵ_{cu}	3.5 ‰
E_s	200.000 N/mm ²	f_{cd}	18.13
E_s / E_c	15	f_{cc} / f_{cd}	0.8
ϵ_{syd}	1.957 ‰	$\sigma_{c,adm}$	12.25
$\sigma_{s,adm}$	255 N/mm ²	τ_{co}	0.7333
		τ_{c1}	2.114

σ_c N/mm²
 σ_s N/mm²
 ϵ_s ‰
d cm
x x/d
 δ

Verifica
N° iterazioni:
 Precompresso

Figura 10 Reazione alla base del plinto

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 52 Di 59

Il comportamento strutturale del plinto è di **tipo rigido** essendo $v < 2h$:

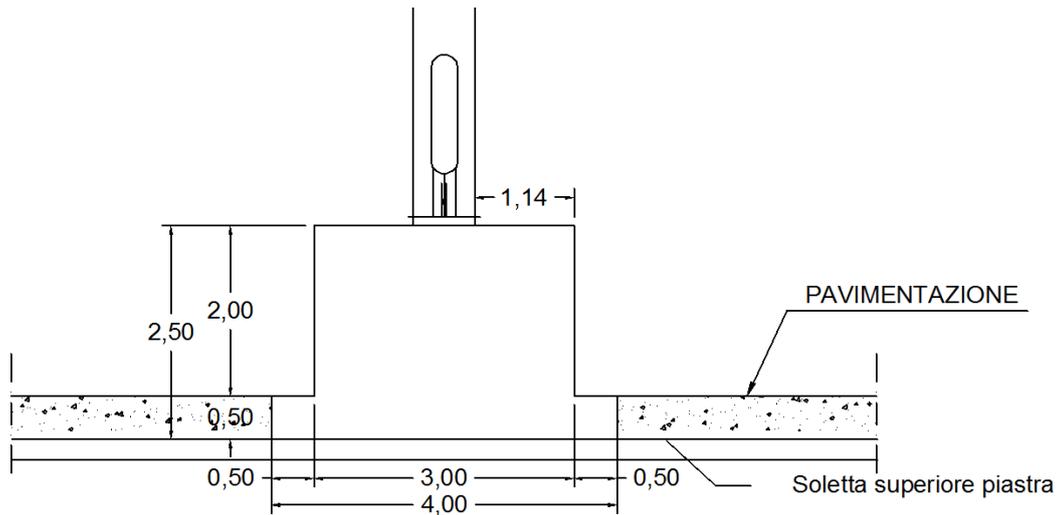


Figura 11 Geometria del modello

$v = 1,14$ m;

$h = 2,5$ m;

Data la geometria, si è eseguita la verifica dell'armatura inferiore con il modello puntone-tirante, secondo il comportamento riportato nella figura sottostante:

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 53	Di 59

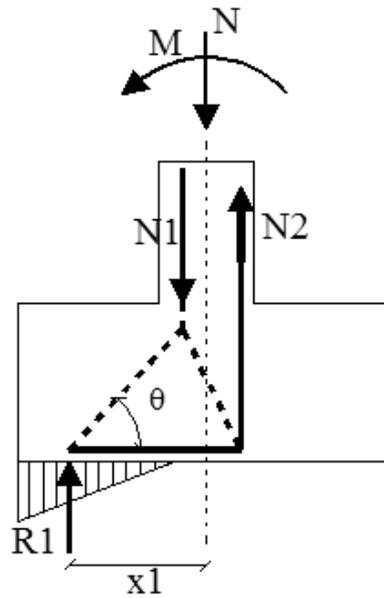


Figura 12 Comportamento di mensola tozza

dove R_1 è la risultante delle pressioni trasmesse alla base del plinto;

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 54	Di 59

Tabella 35 Schema tirante -puntone

RESISTENZA ARMATURA TESA		
$X1=M/R1$	1.23	m
R1	887.90	kN
a	1.10	m
$z=d-a/4$	2.18	m
$tg\theta=z/(x1-a/4)$	2.28	
$T1=R1/tg\theta$	389.04	kN
Asmin	994.99	mmq
B-tirante (45°)	2.46	m
Asmin/m	405.13	mmq/m
Armatura di progetto		
φ	14	
n	5	
As/m	769.30	mmq/m
f_{yd}	391	N/mmq

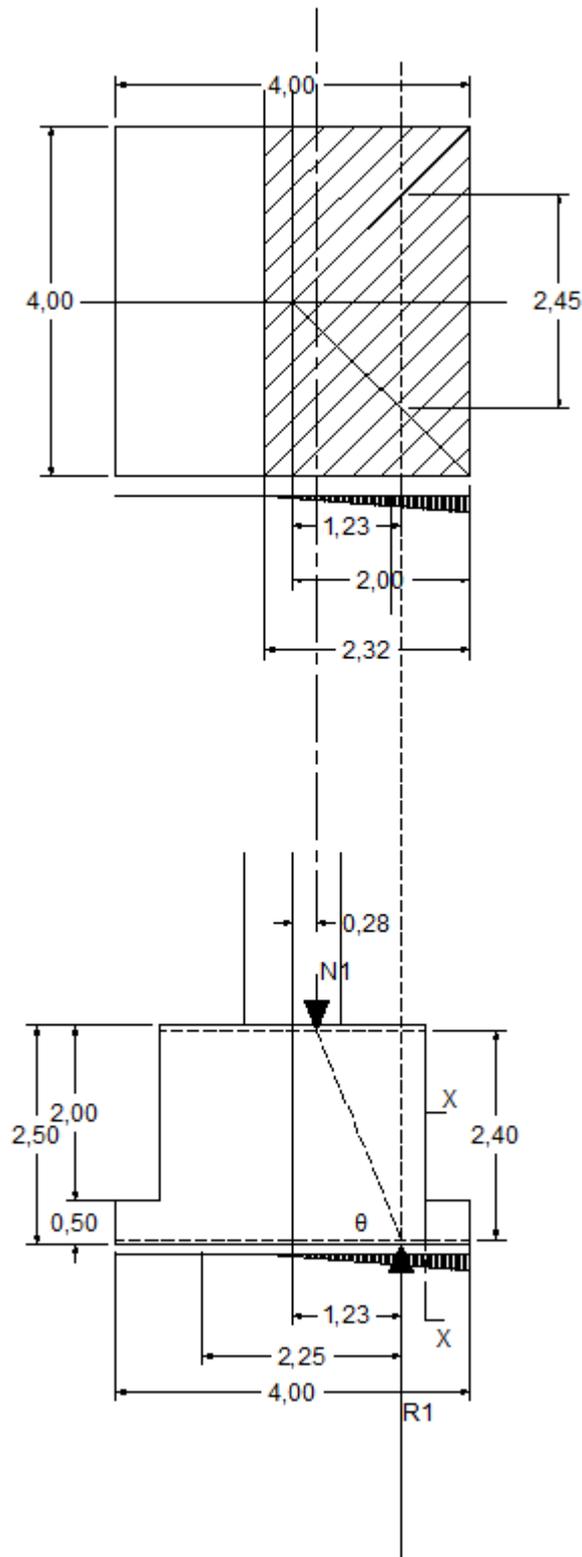


Figura 13 Analisi del comportamento tirante puntone

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 56	Di 59

L'armatura prevista risulta simmetrica rispetto ad entrambe le direzioni principali e con ancoraggio non inferiore a 20 cm.

Superiormente si prevede un'armatura identica a quella inferiore da prolungare fino alla fondazione.

Si disporranno dei ferri lungo la parete con passo non minore di 30 cm del diametro $\varnothing 14$ mm.

Per quanto riguarda l'elemento sporgente della fondazione, si è valuto il comportamento flessionale e a taglio in corrispondenza della sezione x-x.

Tabella 36 Azioni sezione X-X

SOLLECITAZIONE FLESSIONALE E DI TAGLIO		
bx	0.5	m
σ_{max}	191.69	kN/mq
bmax	2.32	m
σ_1	150.30	kN/mq
$\Delta\sigma$	82.77	kN/mq/m
Analisi al metro per metro lineare		
M	22.24	kNm/m
V	85.50	kN/m

Titolo : FLESSIONE SOLETTA DI BASE s=50 cm

N° figure elementari Zoom N° strati barre Zoom

N°	b [cm]	h [cm]
1	100	50

N°	As [cm²]	d [cm]
1	7.7	5
2	7.7	45

Sollecitazioni
 S.L.U. Metodo n

N_{Ed} kN
M_{xEd} kNm
M_{yEd} kNm

P.to applicazione N
 Centro Baricentro cls
 Coord.[cm] xN
yN

Tipo rottura
Lato calcestruzzo - Acciaio snervato

Metodo di calcolo
 S.L.U.+ S.L.U.-
 Metodo n

Tipo flessione
 Retta Devia

N° rett.

L₀ cm

Precompresso

Materiali

S355	C32/40
ε _{su} <input type="text" value="67.5"/> ‰	ε _{c2} <input type="text" value="2"/> ‰
f _{yd} <input type="text" value="308.7"/> N/mm²	ε _{cu} <input type="text" value="3.5"/> ‰
E _s <input type="text" value="200,000"/> N/mm²	f _{cd} <input type="text" value="18.13"/> N/mm²
E _s /E _c <input type="text" value="15"/>	f _{cc} /f _{cd} <input type="text" value="0.8"/> ?
ε _{syd} <input type="text" value="1.544"/> ‰	σ _{c,adm} <input type="text" value="12.25"/> N/mm²
σ _{s,adm} <input type="text" value="240"/> N/mm²	τ _{co} <input type="text" value="0.7333"/>
	τ _{c1} <input type="text" value="2.114"/>

M_{xRd} kN m

σ_c N/mm²
σ_s N/mm²
ε_c ‰
ε_s ‰
d cm
x w/d
δ

Figura 14 Verifica a flessione

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO	Data Novembre 2014	
	RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO	Pagina 58	Di 59

VERIFICA A TAGLIO NTC08

Geometria sezione

b_w	1.00 m	(larghezza minima della sezione)
H	0.50 m	(altezza della sezione)
c	0.05 m	(copriferro)
V_{Ed}	85.50 kN	(azione di taglio sollecitante di calcolo)
N_{Ed}	0.00 kN	(azione normale di compressione sollecitante di calcolo)

Materiali

Calcestruzzo

γ_{cls}	25 kN/m ³	(peso specifico del calcestruzzo armato)
C32/40	▼ 1	(classe di resistenza calcestruzzo)
f_{ck}	32 N/mm ²	
R_{ck}	40 N/mm ²	
γ_c	1.5	
f_{cm}	40 N/mm ²	
E_{cm}	33346 N/mm ²	

Acciaio

B450C		(tipo di acciaio)
f_{yk}	450 N/mm ²	
f_{tk}	540 N/mm ²	
γ_s	1.15	

4.1.2.1.3.1 Elementi senza armature trasversali resistenti a taglio

b_w	1000 mm	(larghezza minima della sezione)
d	450 mm	(altezza utile della sezione)
A_s	$\emptyset 14 / 20$	(armatura al lembo teso 1° strato)
	$\emptyset / 20$	(armatura al lembo teso 2° strato)
A'_s	$\emptyset 14 / 20$	(armatura al lembo compresso 1° strato)
	$\emptyset / 20$	(armatura al lembo compresso 2° strato)
A_{sl}	1539 mm ²	(area armatura longitudinale)
k	1.67	(parametro che tiene in conto l'effetto dell'ingranamento degli inerti)
v_{min}	0.43	
ρ_l	0.0034	(rapporto geometrico di armatura longitudinale)
A_c	450000 mm ²	(area sezione in calcestruzzo)
σ_{cp}	0 N/mm ²	(tensione media di compressione nella sezione)
V_{Rd}	199.83 kN \geq	191.70 kN

Verifica a taglio soddisfatta.

Figura 15 Verifica a taglio

L'armatura prevista è pertanto sufficiente.

	PORTO DI TRIESTE – TERMINAL CONTAINER MOLO VII ALLUNGAMENTO 100m	Documento 0129TST01027-00-R06	
	PROGETTO DEFINITIVO		Data Novembre 2014
RELAZIONE DI CALCOLO PAVIMENTAZIONE E FONDAZIONE DELLA TORRE FARO		Pagina 59	Di 59

12. CONCLUSIONI

La presente relazione ha descritto i criteri di dimensionamento e verifica della pavimentazione e delle fondazioni delle torri faro previste per l'illuminazione dell'area di ampliamento del molo VII.

Le verifiche effettuate sul comportamento deformativo e tensionale della pavimentazione, a seguito delle condizioni di carico e del numero dei cicli di carico analizzati, nell'arco della vita utile, ha dato esito positivo.

Le verifiche condotte sul blocco di fondazione riguardano la stabilità del complesso fusto-plinto ed in particolar modo alla condizione di ribaltamento sotto l'azione trasversale del vento. Inoltre sono state eseguite verifiche strutturali del sistema di ancoraggio con tirafondi uncinati e del plinto di fondazione.

Le verifiche, garantendo coefficienti di sicurezza maggiori di valori minimi imposti, risultano soddisfatte in base alla normativa vigente.

Roma, Novembre 2014

Il Direttore Tecnico
Dott. Ing. Michelangelo Lentini