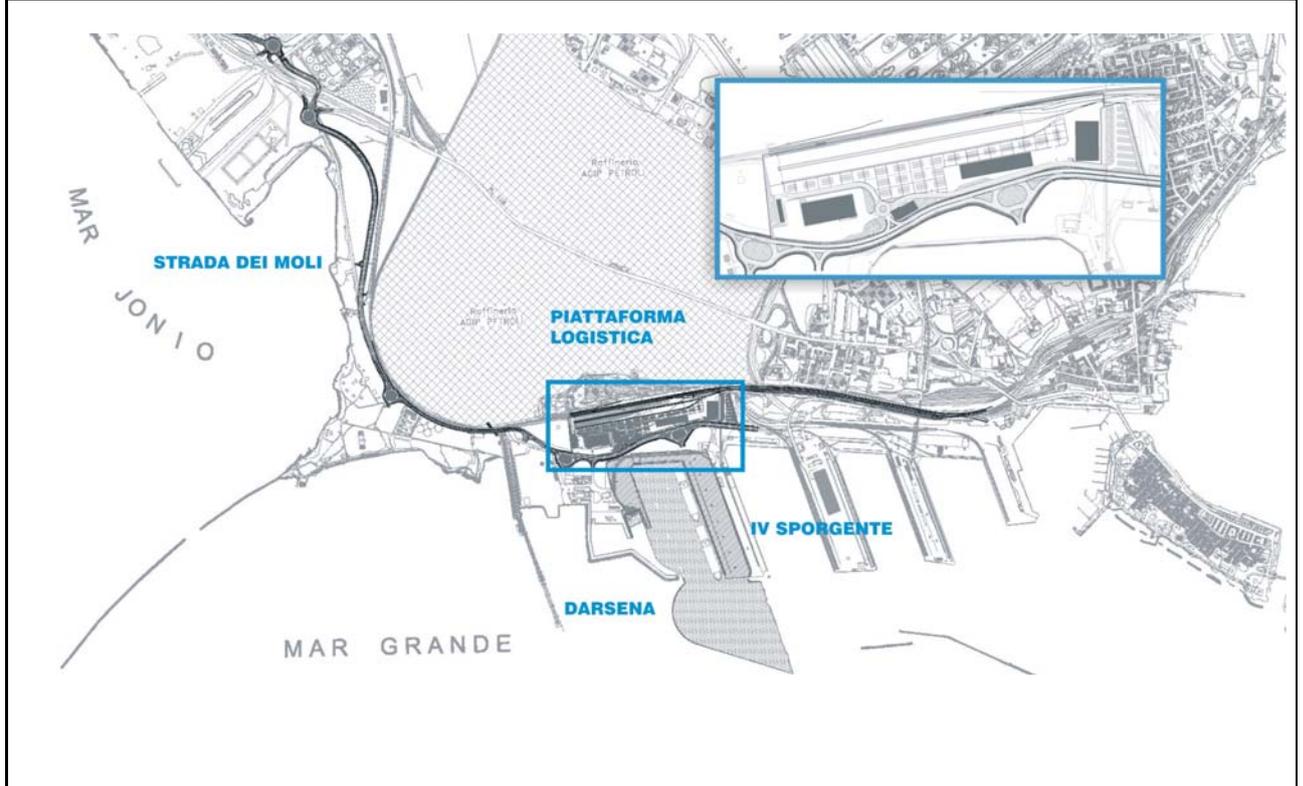




.Titolo PROGETTO DEFINITIVO Ampliamento IV Sporgente Relazione di Calcolo pavimentazione			Documento no. 123.700 B1 OOT S 002	Rev 01	Pag. 1	di 30
			 Autorità Portuale di Taranto			
Tipo doc. PRC	Emesso da DTL	Commessa no. 123-700	Progetto: Piastra Portuale di Taranto Legge obiettivo delibera CIPE 74/03 Responsabile del procedimento: Ing. D. Daraia			



Progettazione 	Consulenti Progettisti   	Il Direttore Tecnico: Dott. Ing. Andrea PANIZZA Il Direttore Tecnico: Dott. Ing. Marco GONELLA
---	---	---

P	A	Redatto	Controllato	Controllato	Approvato	Rev.	Tipologia	Data
P	A	M.Tondello	M.Gonella	A.Panizza	G.Geddo	01	Prima emissione	29-09-2006
P	A	M.Tondello	M.Gonella	A.Panizza	G.Geddo	00	Emissione in bozza	31-05-2006
St.	Sc.	Redatto	Controllato	Controllato	Approvato	Rev.	Tipologia di revisione	Data

SOCIETA' DI PROGETTO:
TARANTO LOGISTICA S.p.A



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	2	30

1	PREMESSA.....	4
1.1	REALIZZAZIONE PIAZZALE	5
1.1.1	<i>Riempimento</i>	5
1.1.2	<i>Pavimentazione.....</i>	5
1.2	PROGETTO GEOTECNICO DEL PIAZZALE.....	6
1.3	CARICHI DI PROGETTO	6
2	PRECARICO	8
2.1	METODO DI TRATTAMENTO	8
2.2	RILEVATO DI PRECARICO	9
2.3	TEMPI DI CONSOLIDAZIONE.....	10
2.4	MONITORAGGIO DEI CEDIMENTI	12
3	VERIFICA DELLA CAPACITA' PORTANTE DELLA PIASTRA	14
3.1	RISULTATI	14
4	PAVIMENTAZIONE.....	15
4.1	DESCRIZIONE DEL PROGRAMMA DI CALCOLO UTILIZZATO.....	15
4.1.1	<i>Modellazione del comportamento del terreno</i>	15
4.1.2	<i>Modello elastico lineare.....</i>	15
4.1.3	<i>Modello incrudente isotropo.....</i>	16
4.1.4	<i>Modello viscoplastico</i>	16
4.2	DESCRIZIONE DEL MODELLO ADOTTATO.....	17
4.3	PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE	18
4.3.1	<i>Caratteristiche dei materiali.....</i>	18
4.3.2	<i>Condizioni di carico.....</i>	19
4.3.3	<i>Analisi dei risultati.....</i>	19
5	SPECIFICHE TECNICHE SUI MATERIALI UTILIZZATI PER LA FORMAZIONE DEL RIEMPIMENTO IN MATERIALE ARIDO	22
6	SPECIFICHE TECNICHE SUI BLOCCHETTI IN CLS	23
7	SPECIFICHE TECNICHE SUL CONGLOMERATO BITUMINOSO	24
8	SPECIFICHE TECNICHE SULLO STRATO DI POSA IN SABBIA.....	26
9	SPECIFICHE TECNICHE SUI MATERIALI UTILIZZATI PER LA FORMAZIONE DI STRATI IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO	27
9.1	MATERIALI COSTITUENTI E LORO QUALIFICAZIONE	27
9.1.1	<i>Aggregati</i>	27
9.1.2	<i>Miscele.....</i>	27
9.2	ACCETTAZIONE DEL MISTO GRANULARE.....	28
9.3	CONFEZIONAMENTO DEL MISTO GRANULARE.....	28
9.4	POSA IN OPERA DEL MISTO GRANULARE.....	28
9.5	CONTROLLI.....	29
9.5.1	<i>Materiali</i>	29
9.5.2	<i>Miscele.....</i>	29
9.5.3	<i>Costipamento</i>	29
9.5.4	<i>Portanza.....</i>	30



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	3	30

9.5.5 Sagoma..... 30



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	4	30

1 PREMESSA

L'intervento consiste nella perimetrazione dello specchio acqueo sul quale insisterà il nuovo piazzale, operato con cassoni prefabbricati in c.a. e opportunamente rinfiancati sul lato interno con pietrame; successivamente alla perimetrazione così condotta, verrà realizzato un riempimento con materiale arido proveniente da cava autorizzata. Il riempimento verrà completato con una pavimentazione adatta a sopportare il sovraccarico dei container e dei mezzi previsti per la loro movimentazione (del tipo reach stacker).

Per lo scarico dei containers in banchina verrà utilizzata una gru gommata, che, in fase di esercizio (ossia durante le operazioni di carico/scarico), la gru scarica le sollecitazioni al suolo tramite piastre (stabilizzatori).

Si prevede che tale mezzo agisca su appositi tracciati; visto l'ingombro in pianta della gru (circa 23x14m), le piastre stabilizzatrici poggiano da un lato sulla trave di coronamento gettata in testa ai cassoni e dall'altro lato su una piastra in calcestruzzo di idonee dimensioni. Il calcolo della capacità portante del terreno di fondazione della piastra è riportato in dettaglio al paragrafo 3.

Il fondale attuale risulta caratterizzato dalla presenza di uno strato fortemente compressibile (deposito di fondale) di caratteristiche e spessore eterogenei, circostanza che rende anche problematica la definizione a priori di caratteristiche geotecniche rappresentative per tale materiale. Una descrizione più dettagliata di tale materiale è riportata nella Relazione Geologica e Geotecnica (Allegato B100AS002).

L'approccio progettuale è stato sviluppato su due fronti:

- definizione di una modalità esecutiva che consenta di limitare i cedimenti della pavimentazione in esercizio;
- scelta di un pacchetto di pavimentazione costituito da strati di materiali in grado di assorbire i carichi di progetto, da realizzarsi previo miglioramento delle caratteristiche meccaniche del terreno di fondazione.

Essenzialmente il primo problema si riduce alla individuazione di trattamenti e controlli che garantiscano una consolidazione efficace e il miglioramento delle caratteristiche geotecniche del deposito di fondale, prima della realizzazione della pavimentazione e del successivo sovraccarico.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	5	30

1.1 Realizzazione piazzale

La sequenza di realizzazione prevede che il piazzale, una volta terminato, sia costituito dai seguenti elementi:

- riempimento, dal fondo a circa + 2.00 m s.m.m., eseguito con materiale arido;
- strato di tout-venant compattato, da + 2.00 a + 2.50 m s.m.m.;
- pacchetto di pavimentazione, da +2.50 m s.m.m. a +3.00 m s.m.m..

1.1.1 Riempimento

Il terreno impiegato per il riempimento è costituito da materiale arido proveniente da cava autorizzata.

La formazione dei riempimenti dovrà avvenire mediante stesa in avanzamento con mezzi meccanici, da terra o da piste di cantiere appositamente realizzate, fino al raggiungimento della quota del medio mare. Al disopra della quota del medio mare il materiale dovrà essere adeguatamente compattato per strati non superiori a 30 cm, fino al raggiungimento di una densità non inferiore al 90% della densità massima ottenuta dalla prova Proctor Modificata.

1.1.2 Pavimentazione

Il piazzale, sul quale sosteranno i containers e transiteranno mezzi operativi del tipo reach stacker, verrà sarà caratterizzato da una pavimentazione flessibile (Figura 1), costituita per gli ultimi 50 cm da:

- strato in misto stabilizzato dello spessore di 30 cm;
- strato in conglomerato bituminoso dello spessore di 5 cm (roadbase);
- strato di sabbia per la posa dei blocchi in calcestruzzo dello spessore di 5 cm (laying course);
- blocchi in calcestruzzo dello spessore di 10 cm.

Le verifiche e il dimensionamento della pavimentazione sono stati condotti, sulla base dei risultati dei sondaggi riportati nella relazione geotecnica SGI: In particolare è stata considerata la seguente stratigrafia per il terreno sottostante lo strato in tout-venant:

- strato dello spessore di 4.00 m costituito dal riempimento in materiale arido, da quota - 2.00 m s.m.m. a quota + 2.00 m s.m.m.;
- strato dello spessore di 3 m costituito dal deposito di fondale da quota - 5.00 m s.m.m. a quota - 2.00 m s.m.m.;
- strato profondo costituito da argille (argilla alterata e argilla di Taranto) a partire da quota - 5.00 m s.m.m.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	6	30

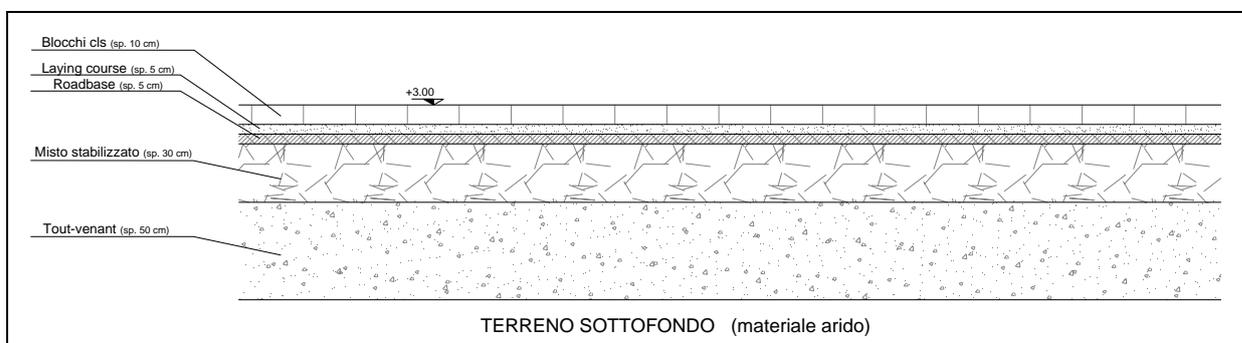


Figura 1 – Schema pavimentazione flessibile con blocchi in calcestruzzo

1.2 Progetto geotecnico del piazzale

Alla luce delle problematiche precedentemente illustrate, il presente progetto geotecnico è finalizzato a definire soluzioni idonee per:

- accelerare il processo di consolidazione del deposito di fondale;
- evitare che si verifichino, in condizioni di esercizio, cedimenti dovuti al processo di consolidazione del deposito di fondale;
- individuare un pacchetto di pavimentazione di adeguata rigidità e capacità portante.

1.3 Carichi di progetto

Secondo le indicazioni fornite dal Committente, il piazzale del IV sporgente verrà utilizzato prevalentemente per lo stoccaggio di containers.

Ai fini delle verifiche del pacchetto di pavimentazione, si è quindi assunto un sovraccarico distribuito pari a 50 kPa, ritenuto rappresentativo delle descritte condizioni di esercizio; tale sovraccarico corrisponde infatti ad una pila di cinque containers sovrapposti.

Oltre al sovraccarico dei containers, è stato considerato anche quello dovuto ai mezzi per la movimentazione dei containers; il dimensionamento della pavimentazione è stato condotto considerando come mezzi operativi sul piazzale del IV sporgente dei reach stacker (Figura 2).

Il reach stacker è caratterizzato da un carico per assale (scaricato su una coppia di ruote affiancate) pari a 500 kN. Ipotizzando che la distanza tra le coppie di ruote sia tale per cui non vi sia influenza reciproca, che la pressione di gonfiaggio dei pneumatici sia pari a 1000 kPa, si un'impronta di carico circolare equivalente avente superficie pari a 0.5 m².

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	7	30



Figura 2 – Reach stacker



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	8	30

2 PRECARICO

L'eterogeneità del deposito di fondale rende problematica la definizione a priori di caratteristiche geotecniche rappresentative per tale materiale.

Viste le modeste qualità geotecniche del deposito di fondale (soffice ed estremamente compressibile), si può comunque prevedere che esso sarà soggetto ad un fenomeno di consolidazione piuttosto rilevante, che potrebbe in parte verificarsi in condizioni di esercizio, con probabili dissesti della pavimentazione.

Al fine di permettere una rapida messa in esercizio dell'area, garantendo al contempo un comportamento adeguato del piazzale (riducendo cioè la vulnerabilità ai cedimenti sotto carico), è pertanto indispensabile provvedere a migliorare le caratteristiche meccaniche del deposito di fondale.

Tale risultato potrà essere ottenuto procedendo, al termine delle operazioni di riempimento, alla realizzazione di un rilevato di precarico che dovrà quindi essere mantenuto fino all'esaurimento dei cedimenti di consolidazione del terreno di fondazione.

Il rilevato di precarico permetterà di rendere il terreno di fondazione, ivi incluso il deposito di fondale, adeguato alla posa della pavimentazione e al suo utilizzo nel più breve tempo possibile.

2.1 Metodo di trattamento

Il metodo di trattamento prescelto consiste nell'applicazione di un rilevato di precarico. Esso presenta il notevole vantaggio di indurre preventivamente i cedimenti di consolidazione del materiale compressibile (deposito di fondale), che viceversa si manifesterebbero al momento dell'applicazione del carico. Tale metodo di trattamento permette, se correttamente eseguito, il rispetto dei limiti di cedimento prefissati.

Gli unici svantaggi sono legati alla necessità di mantenere il precarico stesso per il tempo necessario al completamento del processo di consolidazione ed alla disponibilità di quantità considerevoli di terreno per la realizzazione del rilevato.

Si stima comunque che la natura limoso-sabbiosa del deposito di fondale consenta comunque un processo di consolidazione relativamente rapido e che il precarico possa essere realizzato per fasi successive utilizzando il materiale arido destinato alle successive fasi di riempimento.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	9	30

2.2 Rilevato di precarico

Come precedentemente illustrato, il progetto geotecnico prevede la realizzazione di un rilevato di precarico per far scontare al deposito di fondale i cedimenti di consolidazione dovuti ai carichi di esercizio.

L'altezza del rilevato è calcolata in modo tale che lo stato tensionale al quale sono assoggettati gli strati sottostanti durante la permanenza del precarico sia almeno pari al carico di progetto. I carichi sul piazzale del molo IV sporgente sono essenzialmente costituiti da containers, per i quali è stato adottato un carico equivalente uniformemente distribuito pari a 50 kPa (vedi paragrafo 1.3).

A questo vanno aggiunti il peso della pavimentazione per un'altezza complessiva di 1.0 m, il cui valore medio è stimato in 20 kPa ($q = 1.0 \times \gamma_{\text{pavimentazione}} = 1.0 \times 20 = 20 \text{ kPa}$). Il carico permanente di progetto sul riempimento, alla quota di +2.00 m s.m.m., è pertanto mediamente pari a circa 70 kPa, che corrisponde, ipotizzando $\gamma_{\text{terreno}} = 18 \text{ kN/m}^3$, ad uno spessore del rilevato di precarico di circa 4.0 m. Il rilevato dovrà quindi raggiungere la quota media di 6.0 m rispetto al livello del mare.

Schematicamente, possono essere distinte 5 fasi per quanto riguarda la realizzazione del rilevato di precarico:

- Fase 1: riempimento a tergo del rinfianco in pietrame dei cassoni con materiale arido fino alla quota di +2.00 m sul medio mare;
- Fase 2: realizzazione del rilevato di precarico con materiale arido fino al raggiungimento della quota di +6.00 m sul medio mare;
- Fase 3: rimozione del precarico e spianamento della superficie fino alla quota di +2.00 m sul medio mare;
- Fase 4: stesa e compattazione di uno strato di 50 cm di tout-venant, fino alla quota di +2.50 m sul medio mare;
- Fase 5: realizzazione del pacchetto di pavimentazione.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	10	30

2.3 Tempi di consolidazione

E' stata eseguita una stima dei tempi di consolidazione del materiale denominato "deposito di fondale". I parametri fondamentali per la valutazione dei tempi di consolidazione primaria, secondo la teoria monodimensionale di Terzaghi (1923), sono espressi nella seguente relazione:

$$C_V = \frac{K \cdot E_{ED}}{\gamma_w}$$

dove:

C_V : coefficiente di consolidazione primaria (m^2/s)

K : coefficiente di permeabilità (m/s)

E_{ED} : modulo edometrico (kPa)

γ_w : peso di volume dell'acqua (kN/m^3).

Come precedentemente descritto, il modulo E_{ED} è stato assunto pari a 3500 kPa.

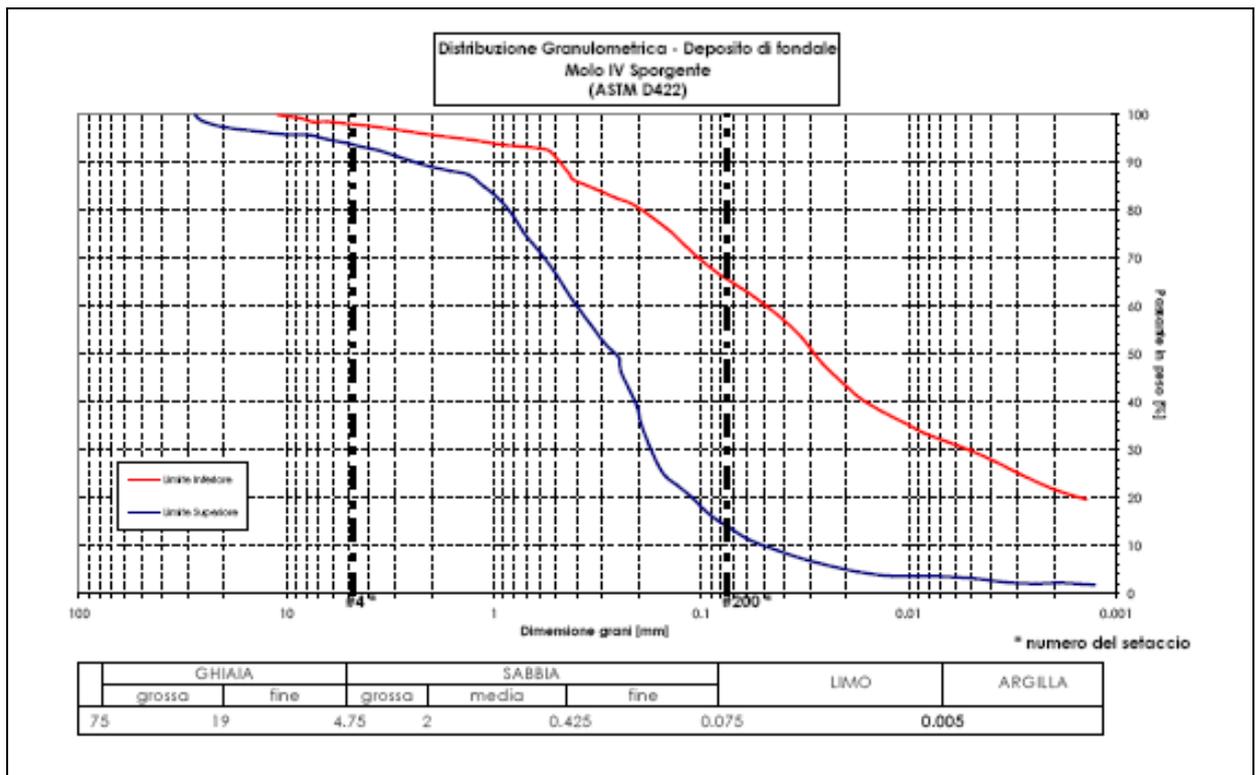


Figura 3 – Curve granulometriche deposito di fondale

Per la determinazione della permeabilità del deposito di fondale, in mancanza di dati più precisi, si è fatto riferimento alle granulometrie riportate nella relazione geotecnica e rappresentate nella precedente Figura 3. Poiché il materiale esibisce una notevole variabilità granulometrica per i campioni osservati (passando da sabbia fino



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	11	30

all'argilla), a favore della sicurezza si è assunto un valore di permeabilità più prossimo a quello ricavabile dalla granulometria del materiale più fine.

Facendo riferimento alla nota formula di Hazen, si può ottenere una stima sommaria della permeabilità:

$$K=D_{10}^2$$

dove

D_{10} : diametro dei grani corrispondenti al 10% del passante.

In base a tali considerazioni si è ottenuto un valore di permeabilità $K=10^{-8}$ m/s e un coefficiente di consolidazione:

$$C_v = 3.50E-06 \text{ m}^2/\text{s}.$$

Il tempo di consolidazione, corrispondente al 90% del grado di consolidazione, si ottiene dalla:

$$t_{90} = \frac{T_v \cdot H^2}{C_v}$$

essendo:

T_v : fattore di tempo adimensionale pari a 0.848 per un grado di consolidazione del 90%

H : spessore dello strato drenante (mediamente 3 m, essendovi possibilità di drenaggio da una sola estremità).

Si ottiene in tal caso un tempo di consolidazione t_{90} inferiore ai 30 giorni.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	12	30

2.4 Monitoraggio dei cedimenti

Il monitoraggio dei cedimenti indotti dall'applicazione del precarico potrà essere condotto attraverso l'impiego di idonea strumentazione. Nel caso in esame, si consiglia l'installazione di assestimetri multibase ("sliding deformeters"); tali strumenti permettono di misurare le deformazioni assiali del terreno lungo una linea verticale o inclinata.

Le misure sono condotte all'interno di un telaio provvisto di fermi che hanno la possibilità di variare le loro distanze in funzione dei movimenti del mezzo circostante, al quale sono resi solidali mediante l'iniezione di una appropriata miscela cementizia nell'intercapedine tra il foro e la tubazione sliding.

L'esecuzione delle misure consiste nel rilievo lungo tutto il tubo sliding della distanza tra i fermi dei manicotti di giunzione, dalla quale poi si potrà risalire alle deformazioni, lungo l'asse, di ciascuno strato di terreno (Figura 4).

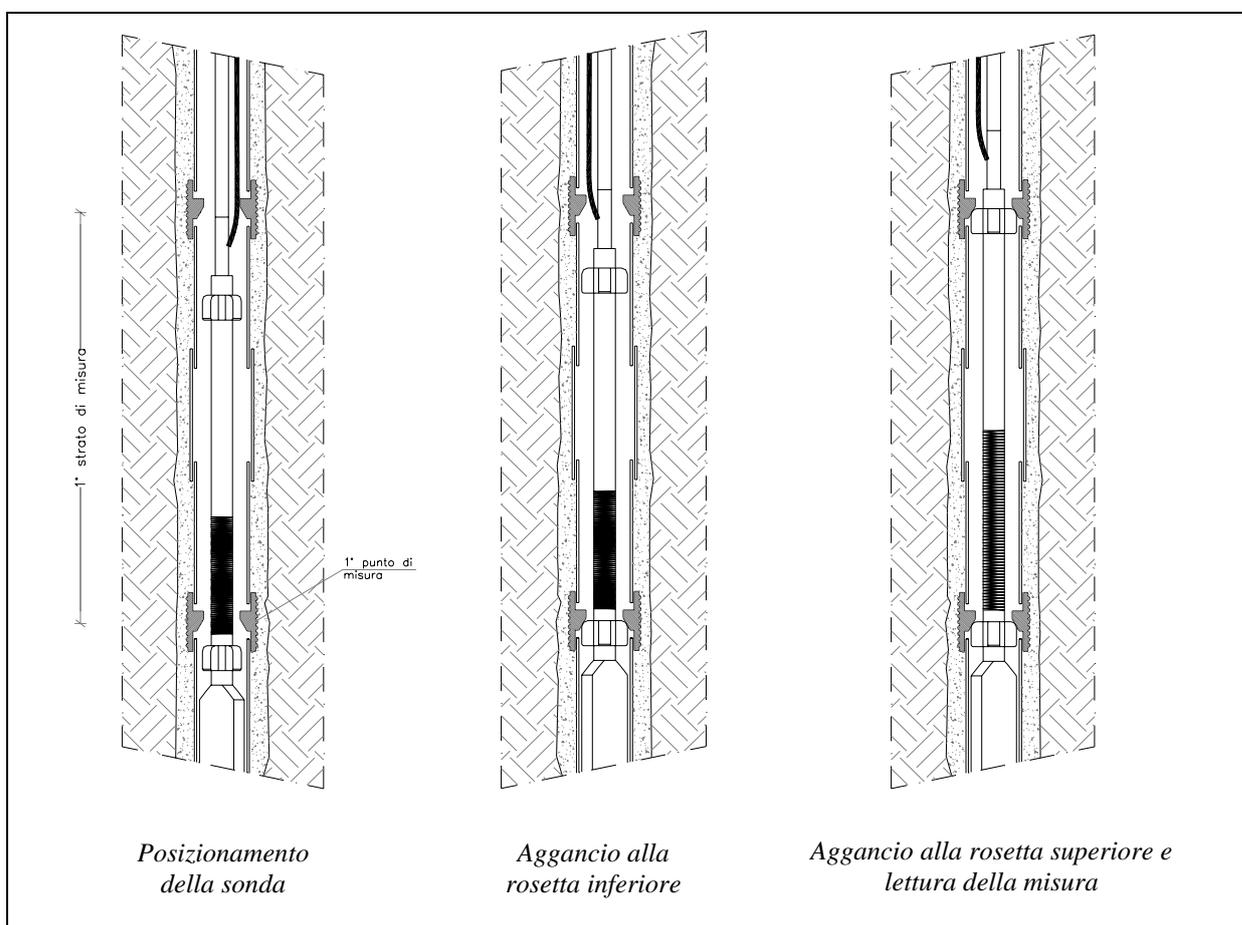


Figura 4 – Esecuzione delle misure

In seguito alla variazione dello stato tensionale nel terreno conseguente alla realizzazione del rilevato di precarico, si sviluppano delle deformazioni verticali che producono l'avvicinamento progressivo dei giunti ancorati al terreno. La misura degli spostamenti viene quindi eseguita a mezzo di una sonda estensimetrica che, calata nel foro, viene fatta scorrere fino a quando vengono intercettate e quindi agganciate le rosette di ancoraggio per consentirne la lettura della distanza relativa.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	13	30

Ai fini di ottenere una maggiore accuratezza nella misura della deformazione, è consigliabile eseguire la lettura relativa a ciascun strato sia durante la discesa che durante la risalita della sonda.

La precisione della sonda è pari a $\pm 0,03\text{mm}$ con intervallo di temperatura di lavoro da -20°C a $+60^{\circ}\text{C}$. L'intervallo di temperatura di lavoro della centralina di acquisizione dei dati varia da -10°C a $+40^{\circ}\text{C}$.

I cedimenti saranno monitorati fino al completo esaurimento del processo di consolidazione. La durata del periodo di monitoraggio, per ciascuna zona di precarico (il consolidamento verrà eseguito per fasi), è stata stimata, sulla base di quanto riportato al precedente paragrafo 2.3, in circa un mese.

Per ciascuna fase di precarico (il rilevato verrà realizzato per fasi successive suddividendo l'area del piazzale del IV sporgente in 4 lotti) è consigliata l'installazione di almeno due assestimetri multibase.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	14	30

3 VERIFICA DELLA CAPACITA' PORTANTE DELLA PIASTRA

Le dimensioni della piastra in calcestruzzo armato sono state valutate in funzione dell'ingombro della gru gommata e delle modalità operative del mezzo.

In particolare visto che l'interasse tra le ruote, in senso longitudinale (parallelo alla banchina) è pari a 16 m, le piastre avranno una lunghezza pari a 8 m; la larghezza sarà pari a 4.3 m e lo spessore pari a 1 m. Considerando che l'interasse tra le ruote in senso trasversale (perpendicolare a filo banchina) è pari a 12 m e che la prima fila di ruote sarà posizionata a 3.5 m da filo banchina, la larghezza della piastra è stata calcolata in modo tale che la gru gommata operi con la seconda fila di ruote in posizione baricentrica.

Le piastre saranno messe in opera con il lato lungo parallelo alla banchina e saranno affiancate alla trave di coronamento gettata in testa ai cassoni.

Il carico massimo agente su ciascuna piastra è pari a 241 t, corrispondenti alla sollecitazione scaricata al suolo dalle piastre stabilizzatrici della gru durante l'azione di scarico/carico dei containers.

3.1 Risultati

Si è ricavata la capacità portante ammissibile del terreno (utilizzando un coefficiente di sicurezza pari a 3), per la piastra di fondazione descritta precedentemente.

Il calcolo della capacità portante limite viene eseguito tramite la relazione proposta da Brinch-Hansen (1970), che costituisce un'estensione dell'equazione di Buisman (1935) e Terzaghi (1935), ottenuta dalla sovrapposizione di soluzioni relative a casi particolari:

$$Q_{LM} = \frac{1}{2} \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot i_{\gamma} + c' \cdot N_c \cdot i_c + q \cdot N_q \cdot i_q$$

dove:

- c': coesione non drenata;
- γ' : peso di volume del terreno sotto il piano di fondazione (a favore di sicurezza si è considerato il peso del terreno immerso come se il livello del mare coincidesse con il piano di posa della piastra);
- q: sovraccarico dovuto alla profondità del piano di posa della fondazione;
- N_c, N_q, N_{γ} : fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di attrito;
- i_c, i_{γ}, i_q : fattori di inclinazione del carico.

Per i fattori N_c, N_q, N_{γ} si fa riferimento alle espressioni ricavate da Prandtl e Reissner:

- $N_c = (N_q - 1) \cotg \phi$;
- $N_q = \text{tg}^2 (45^\circ + \phi/2) \exp (\pi \text{tg} \phi)$;
- $N_{\gamma} = 2 (N_q + 1) \text{tg} \phi$.

Nel caso in esame i fattori di inclinazione del carico possono essere trascurati in quanto la pressione scaricata dalle piastre stabilizzatrici della gru risulta ortogonale al piano di posa della piastra.

Seguendo l'approccio appena proposto si ricava un valore della capacità portante limite pari a circa 8200 t, che corrisponde ad una capacità ammissibile di circa 2730 t. Il carico agente, dato dalla somma del carico dovuto alla gru (241 t) e al peso proprio della piastra in calcestruzzo armato, è pari a circa 330 t.

Di conseguenza la verifica della capacità portante del terreno risulta ampiamente soddisfatta.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	15	30

4 PAVIMENTAZIONE

La pavimentazione adottata nel progetto è quella flessibile riportata in Figura 1. Il codice di calcolo utilizzato è PLAXIS con riferimento ai carichi esercizio riportati al paragrafo 1.3.

4.1 Descrizione del Programma di Calcolo Utilizzato

Per lo studio delle sollecitazioni indotte sulla pavimentazione dai carichi agenti (containers e transtainer), si è utilizzato il programma di calcolo agli elementi finiti PLAXIS.

Lo sviluppo del codice di calcolo PLAXIS è iniziato nel 1987 presso il Politecnico di Delft, su iniziativa del Dutch Department of Public Works and Water Management. Originariamente concepito come un codice di calcolo agli elementi finiti per l'analisi dei corpi arginali e dei terreni molli dei polders olandesi, è stato successivamente ampliato per coprire la maggior parte delle problematiche di ingegneria geotecnica.

Nel 1993 è stata formata una società, denominata PLAXIS BV, per lo sviluppo continuo del codice di calcolo. La ricerca e lo sviluppo sono finanziati grazie agli introiti da nuove licenze, ma soprattutto grazie al CUR (Center for Civil Engineering Research and Codes), un consorzio di più di 30 società europee interessate allo strumento di calcolo che forniscono, oltre al supporto economico, anche il necessario collegamento con la realtà applicativa e la validazione sul campo.

Il codice di calcolo è supportato da un valido background scientifico ed il suo standard tecnico è mantenuto costantemente elevato grazie al contributo delle numerose strutture di ricerca che collaborano direttamente allo sviluppo. Tra queste si ricorda la Delft University of Technology (Olanda), l'Institut für Geotechnik di Stoccarda (Germania), l'Università di Oxford (Gran Bretagna), il Massachusetts Institute of Technology (USA), l'Università di Grenoble (Francia), ecc..

4.1.1 Modellazione del comportamento del terreno

PLAXIS è un codice di calcolo non lineare agli elementi finiti espressamente concepito per i problemi di ingegneria geotecnica (problemi deformativi e filtrazione/consolidazione nei terreni e nelle rocce).

Il comportamento meccanico dei terreni può essere descritto attraverso diversi modelli che forniscono approcci più o meno accurati.

4.1.2 Modello elastico lineare

L'approccio più semplice è quello elastico lineare isotropo, che si basa su due soli parametri, il modulo di Young E e il rapporto di Poisson ν ; il modello elastico lineare, tuttavia, non è sempre valido per trattare i problemi deformativi dei terreni, in particolare quando le deformazioni sono significative.

Un approccio più affine al comportamento reale dei terreni è quello descritto dal modello di Mohr-Coulomb; si tratta di un modello elastoplastico lineare (elastico – perfettamente plastico) che si basa su cinque parametri, di cui due descriventi il comportamento elastico (E , ν) analogamente al modello lineare, due il comportamento plastico (ϕ e c , rispettivamente angolo di attrito interno e coesione) ed uno (ψ) la dilatanza del materiale. Tale modello è stato utilizzato nella presente analisi.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	16	30

4.1.3 Modello incrudente isotropo

Per descrivere il comportamento dei terreni coesivi, fortemente dipendente dalla storia tensionale, nel codice PLAXIS è disponibile un modello incrudente, in grado di rappresentare l'incrudimento isotropo del materiale mediante l'espansione della superficie di snervamento descritta alla Mohr-Coulomb. Oltre ai parametri impiegati nel modello Mohr-Coulomb, il modello incrudente necessita di ulteriori parametri descriventi il comportamento elastico (il modulo E è infatti dipendente dallo stato tensionale), cioè $E_{50,ref}$, modulo di deformazione ricavato da compressione in cella triassiale al 50 % della rottura per una tensione di contenimento di 100 kPa, E_{ur} , modulo di deformazione ricavato da prove di estensione per scarico in cella triassiale, e $E_{oed,ref}$, modulo di deformazione in cella edometrica ricavato sulla curva di compressione vergine.

4.1.4 Modello viscoplastico

Per lo studio dei terreni coesivi e, in particolare, dei problemi di deformazione viscosa e di consolidazione si fa riferimento al modello SSC (Soft Soil Creep), la cui principale peculiarità consiste nel tener conto di:

- rigidezza variabile in funzione del livello di sollecitazione (curva logaritmica);
- distinzione tra curva di carico e di scarico;
- compressione secondaria viscosa;
- memoria della tensione di preconsolidazione;
- rottura secondo il criterio di Mohr-Coulomb.

Il modello necessita di ulteriori parametri per descrivere il comportamento deformativo dei terreni.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	17	30

4.2 Descrizione del Modello Adottato

L'analisi condotta per il progetto della pavimentazione ha richiesto la definizione dei legami costitutivi dei vari materiali che compongono il pacchetto di pavimentazione. Il criterio adottato per la verifica è mirato al controllo degli stati tensionali indotti dai carichi nei diversi strati costituenti la pavimentazione, evitando l'insorgere di deformazioni plastiche. In particolare, lo strato superficiale, costituito da lastre in calcestruzzo armato o da blocchi di calcestruzzo, è stato schematizzato con un modello di tipo elastico.

Le condizioni imposte al contorno sono:

- sovraccarico di esercizio (containers e reach stacker) distribuito su un'ideale impronta di carico;
- spostamenti orizzontali nulli sui lati verticali del modello;
- spostamenti verticali nulli sul lato orizzontale inferiore del modello.

Le condizioni ipotizzate di omogeneità e isotropia degli strati permettono di rappresentare questi ultimi tramite i valori del modulo elastico, E , e del coefficiente di Poisson, ν .

Sono state condotte, attraverso il codice di calcolo PLAXIS, tre differenti simulazioni:

- verifica 1: simulazione condotta ipotizzando che sulla pavimentazione agisca il sovraccarico dovuto alla presenza di una pila di containers (50 kN/m^2) su un'impronta di carico pari a 2.435 m (dimensione in pianta della fila di containers);
- verifica 2: simulazione condotta ipotizzando che sulla pavimentazione agisca il sovraccarico dovuto alla presenza di sei pile affiancate di containers (50 kN/m^2) su un'impronta di carico pari a 14.6 m (dimensione in pianta delle sei file di containers). Tale configurazione è stata analizzata poiché il transtainer è in grado di operare contemporaneamente su sei containers affiancati;
- verifica 3: simulazione condotta ipotizzando che sulla pavimentazione agisca il sovraccarico dovuto alla presenza del reach stacker, utilizzato per la movimentazione dei containers, (carico per assale pari a 500 kN).

In linea generale, le pavimentazioni possono essere suddivise in "rigide" e "flessibili" in funzione del loro comportamento nei confronti dei carichi applicati (Yoder e Witczak, 1975).

Nelle pavimentazioni rigide esiste sostanzialmente un unico elemento resistente rigido costituito da uno strato in cemento, che poggia, di solito, direttamente sul sottofondo; l'elemento di calcestruzzo si fa carico di resistere alle sollecitazioni e, grazie all'elevato modulo di elasticità, è in grado di distribuire la pressione dei carichi su una più ampia superficie di sottofondo, che quindi risulta poco sollecitato (Yoder e Witczak, 1975).

Nelle pavimentazioni flessibili (di rigidezza inferiore al conglomerato cementizio) sono presenti più strati resistenti, per cui la capacità di resistenza ai carichi si esplica attraverso il comportamento globale che nasce dai rapporti tra le rigidezze (moduli elastici) dei singoli strati di materiale che formano il pacchetto della pavimentazione. In particolare è buona norma che gli strati più superficiali presentino le rigidezze maggiori, ma che il rapporto tra il modulo elastico dello strato più superficiale e quello immediatamente successivo sia opportunamente calibrato in modo tale da non provocare un'eccessiva concentrazione delle tensioni nello strato più rigido (Yoder e Witczak, 1975).

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	18	30

4.3 PAVIMENTAZIONE FLESSIBILE

Il pacchetto di pavimentazione adottato per il nuovo piazzale del molo IV sporgente può essere assimilato alle pavimentazioni di tipo “flessibile” e prevede una pavimentazione così costituita:

- blocchetti in calcestruzzo: 10 cm;
- strato di sabbia (laying course): 5 cm;
- conglomerato bituminoso (roadbase): 5 cm;
- misto stabilizzato ($E = 80$ MPa): 30 cm,

E' consigliabile posizionare uno strato di materiale idoneo (tout-venant o materiale scelto), per gli ultimi 50 cm di riempimento, da interporre tra lo stabilizzato ed il materiale arido del riempimento.

4.3.1 Caratteristiche dei materiali

Nel seguito vengono definite le caratteristiche di progetto dei principali materiali costituenti il pacchetto di pavimentazione. Per un maggiore dettaglio si rimanda alle relative specifiche tecniche.

Blocchetti in calcestruzzo

Lo strato superficiale della pavimentazione verrà realizzato con blocchetti in calcestruzzo dello spessore di 10 cm. I blocchetti, o masselli autobloccanti, dovranno realizzati in calcestruzzo vibrocompresso ad alta resistenza.

Strato di sabbia (laying course)

I blocchetti in calcestruzzo verranno messi in opera previa stesa di uno strato di 5 cm di sabbia. La sabbia da utilizzare per lo strato di posa dei blocchetti autobloccanti della pavimentazione dovrà essere di natura calcarea o silicea, corrispondente alla cat. IA dello standard europeo BS EN 12620.

Conglomerato di bituminoso (roadbase)

Il conglomerato bituminoso sarà costituito da una miscela di pietrischetti, graniglie, sabbie ed additivi (conformi alle norme CNR fascicolo IV/1953) mescolati con bitume a caldo e stesi in opera mediante macchina vibrofinitrice.

Misto granulare stabilizzato

Il misto granulare stabilizzato è ottenuto dalla selezione di ghiaie alluvionali di natura mineralogica prevalentemente calcarea, con aggiunta eventuale di pietrisco. Trova applicazione in tutte le condizioni in cui si vuole costruire una struttura di fondazione ad elevata capacità portante, particolarmente indicato per gli ultimi strati dei rilevati sottostanti le pavimentazioni, sia rigide (calcestruzzo), sia semirigide (misto cemento + pacchetto di conglomerati bituminosi), sia flessibili (conglomerati bituminosi).

Questo strato è stato caratterizzato con un modulo elastico “E” pari a 80 MPa e con un coefficiente di Poisson $\nu = 0.25$ (D’Appolonia, 1992). Per quanto riguarda le caratteristiche, le modalità di messa in opera, nonché le capacità prestazionali richieste, si rimanda alle relative specifiche tecniche (capitolo 8).

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	19	30

4.3.2 Condizioni di carico

Per le definizioni delle condizioni di carico si è fatto riferimento a quanto concordato con il Committente. I mezzi di movimentazione dei containers in grado di operare sulla pavimentazione flessibile sono i reach stacker, il cui carico per assale è pari a 500 kN.

In considerazione della distanza tra le coppie di ruote, ciascuna coppia di esse può essere trattata come un carico isolato e, pertanto, nel programma di calcolo è stata adottata una configurazione assial-simmetrica: la sollecitazione trasmessa dai pneumatici affiancati viene considerata come agente su un'impronta circolare equivalente, la cui dimensione è funzione del carico e della pressione di contatto della ruota stessa sulla pavimentazione. Il raggio equivalente dell'impronta di carico, per pneumatici aventi pressione di gonfiaggio pari a 1000 kPa, risulta essere di circa 0.40 m.

La pavimentazione flessibile, oggetto di studio, sarà dunque sollecitata da un carico 500 kN agente su una superficie circolare di raggio pari a 0.40 m, corrispondente ad una pressione di gonfiaggio dei pneumatici pari a 1000 kPa (verifica 3).

Oltre al carico concentrato, sulla pavimentazione agisce anche un sovraccarico di 50 kPa, in questo caso sono state considerate due configurazioni: carico distribuito su una striscia indefinita larga 2.435 m (verifica 1 - una fila di containers) e carico distribuito su una striscia indefinita larga 7.3 m con asse di simmetria posizionato al bordo della mesh del modello (verifica 2 - sei file di containers).

4.3.3 Analisi dei risultati

La pavimentazione è stata schematizzata facendo riferimento alle caratteristiche geometriche e ai parametri geotecnici dei diversi materiali e del terreno di fondazione (riportati in dettaglio ai paragrafi 1.1.1 e 1.1.2).

Le caratteristiche e i parametri geotecnici dei vari materiali impiegati nel modello vengono riportati nella seguente Tabella 1.

DESCRIZIONE MATERIALE	γ	γ_w	ϕ'	c'	ν	E
Blocchetti in calcestruzzo	23.00	-	-	-	0.15	34000
Strato di sabbia	18.00	21.00	35	-	0.3	40
Conglomerato bituminoso	23.5	-	-	-	0.35	1500
Stabilizzato	19.00	21.00	40	10	0.25	80
Tout-venant	18.00	21.00	38	-	0.30	50
Materiale arido	18.00	21.00	38	-	0.30	50
Deposito di fondale	18.00	21.00	27	-	0.20	3.5*
Argilla alterata e argilla di Taranto	20.00	20.00	27	30	0.20	15*

Tabella 1 – Parametri geotecnici di progetto

dove:

- γ Peso di volume del terreno espresso in kN/m³
- γ_w Peso di volume saturo del terreno espresso in kN/m³
- ϕ' Angolo d'attrito interno del terreno espresso in gradi
- c' Coesione del terreno espressa in kPa
- ν Coefficiente di Poisson
- E Modulo elastico espresso in MPa
- * Modulo elastico E50 espresso in MPa.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	20	30

Lo strato di materiale argilloso, costituito da argilla alterata e argilla di Taranto, è caratterizzato da un grado di sovraconsolidazione (OCR) pari a 10 (cfr Relazione geotecnica SGI).

L'analisi mediante il codice di calcolo PLAXIS è stata condotta al fine di valutare, con riferimento alle condizioni di carico proposte al paragrafo 1.3, gli spostamenti totali dovuti all'applicazione dei sovraccarichi di progetto.

Nelle verifiche condotte è stata simulata anche la fase di applicazione del precarico, che, assieme all'utilizzo del modello Hardening per il deposito di fondale e l'argilla di Taranto, ha permesso di valutare l'effetto del precarico in termini di miglioramento delle caratteristiche meccaniche dei terreni di fondazione.

Di seguito sono riportati i risultati delle analisi, condotte mediante il codice di calcolo PLAXIS, in termini di cedimenti totali indotti dai containers (verifica 1-Figura 5 e verifica 2-Figura 6) e dal reach stacker (verifica 3-Figura 7).

Si può osservare come il cedimento sia maggiore (pari a circa 20 mm) nel caso in cui il carico agente sulla pavimentazione sia dovuto alla presenza di sei file di containers affiancati (verifica 2); nel caso della verifica 1 e della verifica 3, il cedimento è pari rispettivamente a circa 6 mm (1 fila di containers) e 7 mm (reach stacker).

Con riferimento ai valori di cedimento in superficie, ottenuti mediante le analisi numeriche, si può ritenere che la pavimentazione esaminata sia adeguata a mantenere la sua funzionalità, in relazione ai carichi di esercizio analizzati.

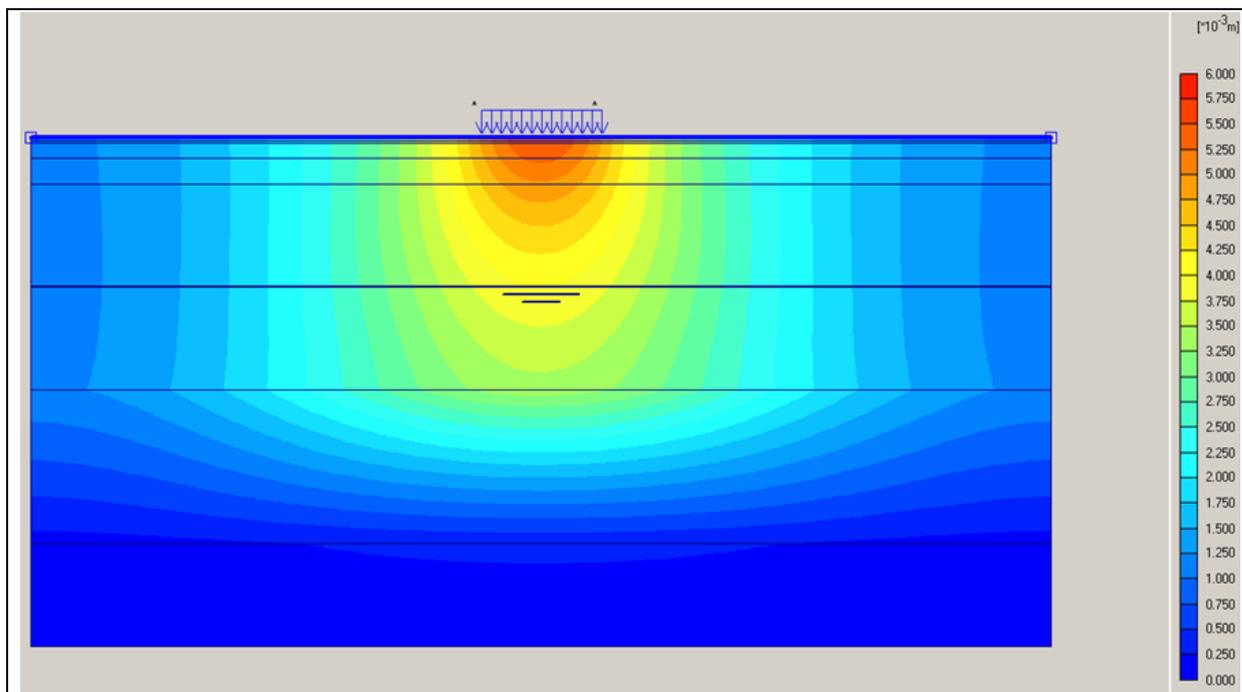


Figura 5 – Verifica 1 – Singola fila container - Spostamenti totali

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	21	30

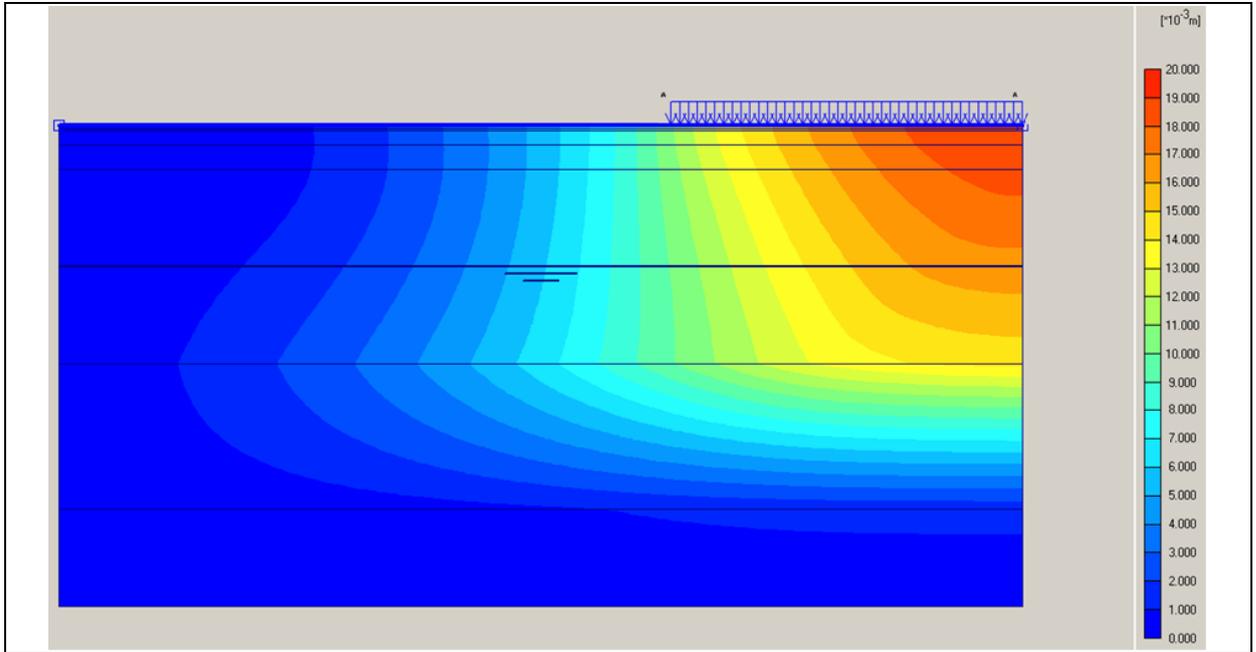


Figura 6 – Verifica 2 – Sei file container - Spostamenti totali

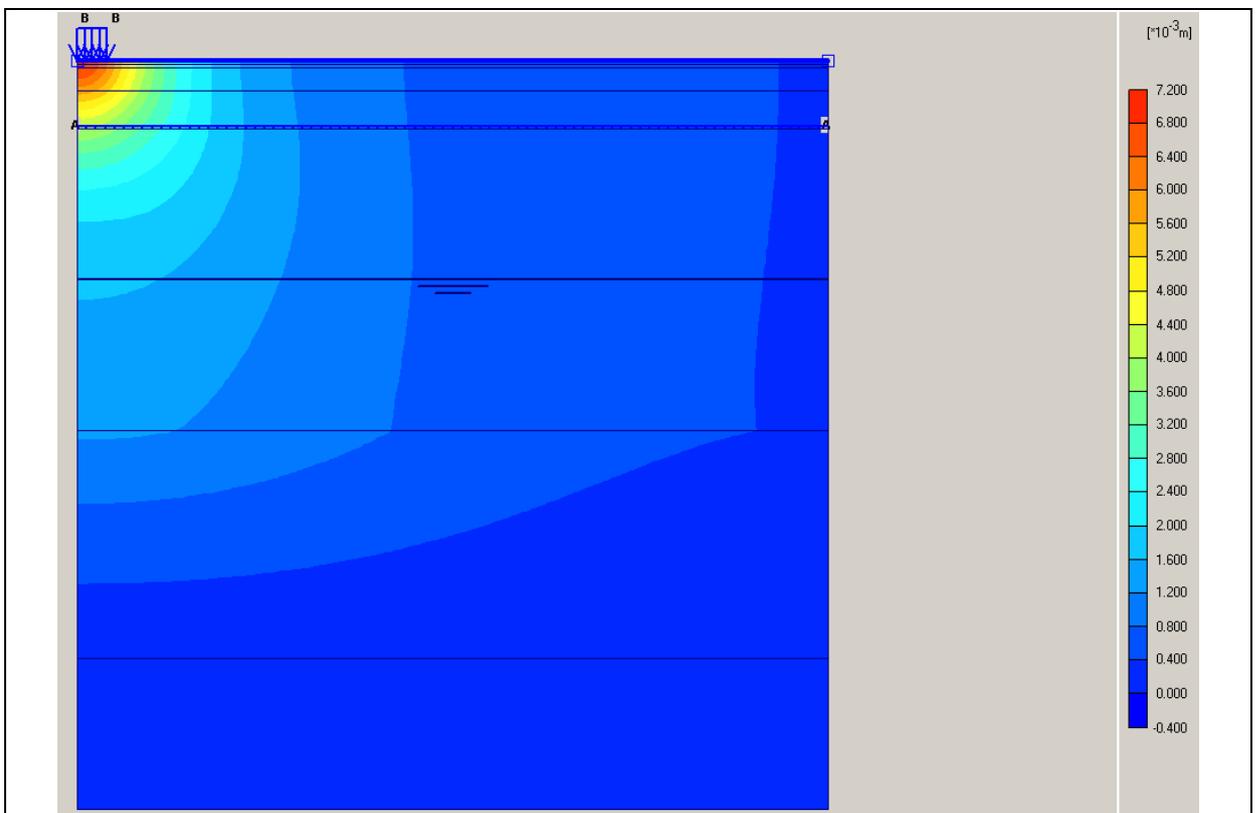


Figura 7 – Verifica 3 – Carico reach stacker - Spostamenti totali



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	22	30

5 SPECIFICHE TECNICHE SUI MATERIALI UTILIZZATI PER LA FORMAZIONE DEL RIEMPIMENTO IN MATERIALE ARIDO

Il materiale arido da utilizzare per i riempimenti dei piazzali della darsena e del IV sporgente dovrà essere di natura calcarea, basaltica, granitica, trachitica, ecc., purché corrisponda ai requisiti essenziali di essere costituito da elementi lapidei in grado di non alterarsi a contatto con l'acqua di mare o per effetto del gelo e di avere un peso specifico non inferiore a 2500 kg/m³.

In particolare devono essere rispettati i seguenti limiti:

- peso specifico medio su 4 provini, allo stato naturale, > 2500 kg/m³;
- coefficiente di imbibizione < 4%;
- resistenza chimica (ASTMC – 88 – 5 cicli solfato di sodio) tale che la perdita sia < 10%;

Il materiale arido potrà essere costituito da ciottoli e blocchi, ghiaia e sabbia. Il passante al vaglio con apertura pari a 2 mm (vaglio serie ASTM No. 10) dovrà essere inferiore al 10% in peso. Il peso massimo degli elementi lapidei non dovrà superare i 100 kg.

Il materiale arido dovrà essere esente da limi e argille.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	23	30

6 SPECIFICHE TECNICHE SUI BLOCCHETTI IN CLS

Per quanto concerne le caratteristiche meccaniche dei blocchetti in calcestruzzo si fa riferimento alla nuova norma europea UNI EN 1338 (novembre 2004).

I blocchetti, o masselli autobloccanti, dovranno realizzati in calcestruzzo vibrocompresso ad alta resistenza e possedere le seguenti caratteristiche (determinate in conformità alla sopra citata norma):

- massa volumica: > 22 kN/m³;
- resistenza a rottura > 3.6 MPa (UNI EN 1338 punto 5.3.3);
- assorbimento acqua < 6% in peso;
- resistenza abrasione < 20 mm.

Le dimensioni e tolleranze dei masselli dovranno essere conformi alla norma EN 1338, richiamata alla seguente Tabella 2.

UNI EN 1338 : masselli in calcestruzzo - Scostamenti ammissibili dalle dimensioni nominali)			
Spessore massello (mm)	Lunghezza (mm)	Larghezza (mm)	Spessore (mm)
100	± 2	± 2	± 3

Tabella 2 – Caratteristiche blocchetti in calcestruzzo



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	24	30

7 SPECIFICHE TECNICHE SUL CONGLOMERATO BITUMINOSO

Il conglomerato bituminoso sarà costituito da una miscela di pietrischetti, graniglie, sabbie ed additivi (conformi alle norme CNR fascicolo IV/1953) mescolati con bitume a caldo e stesi in opera mediante macchina vibrofinitrice.

L'aggregato grosso sarà costituito di pietrischetti e graniglie, che potranno essere anche di provenienza e natura diversa (preferibilmente silicea o basaltica) purché rispondenti ai seguenti requisiti.

- coefficiente di frantumazione inferiore a 140 (CNR fascicolo IV/'53);
- perdita di peso alla prova Los Angeles (norme ASTM - C - 131 - AASHTO - T - 96) inferiore al 25%;
- indice dei vuoti delle singole pezzature inferiore a 0,80 (CNR-fascicolo IV/'53);
- coefficiente di imbibizione inferiore a 0,015 (CNR - fascicolo IV/'53);
- materiale non idrofilo.

Il prelievo di campioni di materiali inerti, per il controllo dei requisiti di accettazione sopra indicati, verrà effettuato secondo le citate norme CNR, Cap. II.

In ogni caso i pietrischetti e le graniglie dovranno essere costituiti da elementi sani, durevoli, poliedrici con spigoli vivi, ruvidi e puliti.

L'aggregato fino sarà costituito in ogni caso da sabbie naturali o di frantumazione che dovranno soddisfare ai requisiti di cui all'art. 5 delle Norme CNR.

Avrà inoltre un equivalente in sabbia non inferiore a 55% ed una perdita per decantazione inferiore al 2%.

Gli additivi minerali (Fillers) saranno costituiti da polveri di rocce preferibilmente calcaree o asfaltiche, o da cemento, da calce idrata, calce idraulica, e dovranno risultare alla setacciatura a secco, interamente passanti al setaccio n. 30 ASTM e per almeno il 65% al setaccio n. 200 ASTM.

Il misto granulare dovrà essere costituito da materiale con le seguenti caratteristiche granulometriche:

<i>Serie crivelli e setacci U. N. I.</i>	<i>Passante % totale in peso</i>
crivello 25	100
crivello 15	65 - 100
crivello 10	50 - 80
crivello 5	30 - 60
setaccio 2	20 - 45
setaccio 0.4	7 - 25
setaccio 0.18	5 - 15
setaccio 0.075	4 - 8

I leganti bituminosi dovranno rispondere ai requisiti richiesti dalle "Norme per l'accettazione dei bitumi per usi stradali" e delle "Norme per l'accettazione delle emulsioni bituminose per usi stradali" emanate dal C.N.R. rispettivamente con i fascicoli n. 2 del 1951 e n. 3 del 1958 e successive sostituzioni, modifiche ed integrazioni.

Come leganti dovranno venire impiegati bitumi solidi di tipo B 80/100, rispondenti alle norme di accettazione, ed aventi indice di penetrazione (IP) - 0.7 / + 0.7.

La percentuale media del legante, riferito alla massa degli inerti, dovrà essere compresa tra il 4% ed il 5,5% e dovrà essere comunque la minima per consentire il valore massimo di stabilità Marshall e di compattezza appresso citati. La composizione adottata dovrà essere resistente ai carichi e sufficientemente flessibile, pertanto il conglomerato dovrà avere i seguenti requisiti:



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	25	30

- stabilità Marshall (prova ASTM 1559/58) eseguita a 60°C. su provini costipati con 75 colpi di maglio per faccia, non inferiore a 800 kgf.;
- scorrimento (prova Marshall) compreso tra 1 e 4 mm.;
- percentuale dei vuoti residui (dei provini Marshall) compresa tra il 4 e l'8%;
- volume dei vuoti residui a cilindratura ultimata compreso fra il 4% e il 10%.



Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	26	30

8 SPECIFICHE TECNICHE SULLO STRATO DI POSA IN SABBIA

La sabbia da utilizzare per lo strato di posa dei blocchetti (masselli autobloccanti) della pavimentazione dovrà essere di natura calcarea o silicea, lavata e scevra da sostanze di natura terrosa, e dovrà presentare un passante al vaglio con apertura 0.063 mm inferiore allo 0.3%.

In particolare, dovrà rispettare i requisiti previsti dal nuovo standard europeo BS EN 12620 per gli aggregati di categoria IA; si richiama nella Tabella 3 il fuso granulometrico richiesto:

Vaglio (mm)	% passante in peso	
8.000	100	100
6.300	95	100
4.000	85	99
0.500	30	70
0.063	0	0.3

Tabella 3 – Fuso granulometrico sabbia utilizzata per lo strato di posa dei blocchetti in calcestruzzo

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	27	30

9 SPECIFICHE TECNICHE SUI MATERIALI UTILIZZATI PER LA FORMAZIONE DI STRATI IN MISTO GRANULARE STABILIZZATO

Il misto granulare è costituito da una miscela di aggregati lapidei di primo impiego, eventualmente corretta mediante l'aggiunta o la sottrazione di determinate frazioni granulometriche per migliorarne le proprietà fisico-meccaniche. Nel caso specifico il misto granulare è impiegato per la costruzione dello strato di fondazione.

9.1 Materiali costituenti e loro qualificazione

9.1.1 Aggregati

Gli aggregati grossi (trattenuti al crivello UNI n. 5) e gli aggregati fini sono gli elementi lapidei che formano il misto granulare.

L'aggregato grosso può essere costituito da elementi ottenuti dalla frantumazione di rocce di cava massive o di origine alluvionale, da elementi naturali a spigoli vivi o arrotondati. Tali elementi possono essere di provenienza o natura petrografica diversa purché, per ogni tipologia, risultino soddisfatti i requisiti indicati nelle Tabella 4 seguente:

Nota:

(1) In zone considerate soggette al gelo.

Indicatori di qualità			
Parametro	Normativa	Unità di misura	Valore
Los Angeles	UNI EN 1097/2	%	≤30
Quantità di frantumato	-	%	≥60
Dimensione max	UNI EN 933/1	mm	63
Sensibilità al gelo ⁽¹⁾	CNR 80/80	%	≤20

Tabella 4 – Aggregato grosso

L'aggregato fino deve essere costituito da elementi naturali o di frantumazione che possiedano le caratteristiche riassunte nella Tabella 5 seguente:

Passante al Crivello UNI n. 5			
Indicatori di Qualità			
Parametro	Normativa	Unità di misura	Fondazione
Indice Plasticità	CNR-UNI 10014	%	N.P.
Limite liquido	CNR-UNI 10014	%	≤25
Passante al setaccio 0.075	CNR 75/80	%	≤6

Tabella 5 – Aggregato fino

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. Tale certificazione deve essere rilasciata da un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

9.1.2 Miscela

La miscela di aggregati da adottarsi per la realizzazione del misto granulare deve avere una composizione granulometrica contenuta nei fusi riportati in Tabella 6.

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	28	30

Nota:

- (1) In luogo dei crivelli indicati potranno essere impiegati setacci aventi un'apertura della maglia pari a 0.8 volte il diametro dei fori del crivello.

Serie Crivelli ⁽¹⁾ e Setacci UNI	Passante (%)
Crivello 70	100
Crivello 30	70 – 100
Crivello 10	30 – 70
Crivello 5	23 – 55
Setaccio 2	15 – 40
Setaccio 0.4	8 – 25
Setaccio 0.075	2 – 15

Tabella 6 – Fuso granulometrico

La dimensione massima dell'aggregato non deve in ogni caso superare la metà dello spessore dello strato di misto granulare ed il rapporto tra il passante al setaccio UNI 0.075 mm ed il passante al setaccio UNI 0.4 mm deve essere inferiore a 2/3.

Il modulo di compressione (M_E) dello strato deve essere quello inserito nel progetto della pavimentazione e viene determinato impiegando la metodologia indicata nella norma SNV 670317a (Cestari, 1990).

I diversi componenti e, in particolare le sabbie, debbono essere del tutto privi di materie organiche, solubili, alterabili e friabili.

9.2 Accettazione del misto granulare

L'Impresa è tenuta a comunicare alla Direzione Lavori, con congruo anticipo rispetto all'inizio delle lavorazioni e per ciascun cantiere di produzione, la composizione dei misti granulari che intende adottare. Per ogni provenienza del materiale, ciascuna miscela proposta deve essere corredata da una documentazione dello studio di composizione effettuato, che deve comprendere i risultati delle prove sperimentali, effettuate presso un Laboratorio riconosciuto dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Lo studio di laboratorio deve comprendere la determinazione della curva di costipamento con prova AASHO modificata (CNR 69/78).

Una volta accettato da parte della Direzione Lavori lo studio delle miscele, l'Impresa deve rigorosamente attenersi ad esso.

9.3 Confezionamento del misto granulare

L'Impresa deve indicare, per iscritto, le fonti di approvvigionamento, le aree ed i metodi di stoccaggio (con i provvedimenti che intende adottare per la protezione dei materiali dalle acque di ruscellamento e da possibili inquinamenti), il tipo di lavorazione che intende adottare, il tipo e la consistenza dell'attrezzatura di cantiere che verrà impiegata.

9.4 Posa in opera del misto granulare

Il piano di posa dello strato deve avere le quote, la sagoma, i requisiti di portanza prescritti ed essere ripulito da materiale estraneo. Il materiale va steso in strati di spessore finito non superiore a 25 cm e non inferiore a 10 cm e deve presentarsi, dopo costipamento, uniformemente miscelato in modo da non presentare segregazione dei suoi

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	29	30

componenti. L'eventuale aggiunta di acqua, per raggiungere l'umidità prescritta in funzione della densità, è da effettuarsi mediante dispositivi spruzzatori.

Tutte le operazioni anzidette sono sospese quando le condizioni ambientali (pioggia, neve, gelo) siano tali da danneggiare la qualità dello strato stabilizzato. Quando lo strato finito risulti compromesso a causa di un eccesso di umidità o per effetto di danni dovuti al gelo, esso deve essere rimosso e ricostituito a cura e spese dell'Impresa.

Il materiale pronto per il costipamento deve presentare in ogni punto la prescritta granulometria. Per il costipamento e la rifinitura verranno impiegati rulli vibranti, rulli gommati o combinati, tutti semoventi. Per ogni cantiere, l'idoneità dei mezzi d'opera e le modalità di costipamento devono essere, determinate, in contraddittorio con la Direzione Lavori, prima dell'esecuzione dei lavori, mediante una prova sperimentale di campo, usando le miscele messe a punto per quel cantiere. Il costipamento di ciascuno strato deve essere eseguito sino ad ottenere una densità in sito non inferiore al 95% della densità massima fornita dalla prova AASHO modificata (CNR 69/78).

9.5 Controlli

Il controllo della qualità dei misti granulari e della loro posa in opera, deve essere effettuato mediante prove di laboratorio sui materiali costituenti, sul materiale prelevato in sito al momento della stesa oltre che con prove sullo strato finito. L'ubicazione dei prelievi e la frequenza delle prove sono indicati nella Tabella 7 seguente.

Tipo di Campione	Ubicazione Prelievo	Frequenza Prove	Requisiti Richiesti
Aggregato grosso	Impianto	Iniziale, poi ogni 6 mesi	Riferimento Tabella 4
Aggregato fino	Impianto	Iniziale, poi ogni 6 mesi	Riferimento Tabella 5
Miscela	Strato finito	Giornaliera	Curva granulometrica di progetto
Sagoma	Strato finito	Giornaliera	Sagoma prevista in progetto
Strato finito (densità in sito)	Strato finito	Giornaliera	95% del valore risultante dallo studio della miscela
Strato finito (prova su piastra)	Strato finito o Pavimentazione	Ogni 2.000 m ² di stesa	Prestazioni previste in progetto

Tabella 7 – Controllo dei materiali e verifica prestazionale

9.5.1 Materiali

Le caratteristiche di accettazione dei materiali elencate al paragrafo 9.1, vanno verificate prima dell'inizio dei lavori, ogni qualvolta cambino i luoghi di provenienza dei materiali e successivamente ogni 6 mesi.

9.5.2 Miscele

La granulometria del misto granulare va verificata giornalmente, prelevando il materiale in sito già miscelato, subito dopo avere effettuato il costipamento. Rispetto alla qualificazione delle forniture, nella curva granulometrica sono ammesse variazioni delle singole percentuali dell'aggregato grosso di ± 5 punti e di ± 2 punti per l'aggregato fino. In ogni caso non devono essere superati i limiti del fuso assegnato (Tabella 6). L'equivalente in sabbia dell'aggregato fino va verificato almeno ogni tre giorni lavorativi.

9.5.3 Costipamento

A compattazione ultimata, la densità del secco in sito, nel 95% dei prelievi, non deve essere inferiore al 95% del valore di riferimento (γ_{smax}) misurato in laboratorio sulla miscela di progetto e dichiarato prima dell'inizio dei lavori. Le misure della densità sono effettuate secondo la norma (CNR 22/72). Per valori di densità inferiori a quello previsto viene applicata una detrazione per tutto il tratto omogeneo a cui il valore si riferisce:

Progetto	Identificativo documento	Rev.	Pagina	Di
Piastra portuale di Taranto – IV Sporgente	123.700 B1 OOT S 002	01	30	30

- del 10% dell'importo dello strato, per densità in sito comprese tra 93 e 95% del valore di riferimento;
- del 20% dell'importo dello strato, per densità in sito comprese tra 90 e 93% del valore di riferimento.

Il confronto tra le misure di densità in sito ed i valori ottenuti in laboratorio può essere effettuato direttamente quando la granulometria della miscela in opera è priva di elementi trattenuti al crivello UNI 25 mm. In caso contrario, se il trattenuto al crivello UNI 25 mm è inferiore al 20%, si può effettuare il controllo previa correzione del peso di volume del secco in sito, per tenere conto della presenza di elementi lapidei di dimensioni maggiori di 20 mm:

$$\gamma_{d,sito} = \frac{P_d - P'_d}{V - V'}$$

dove:

- P_d : Peso secco totale del materiale prelevato,
- V : Volume totale occupato in sito,
- P'_d : Peso secco della frazione trattenuta al crivello UNI 25 mm,
- $V' = P'_d / \gamma_s$: Volume della frazione trattenuta al crivello UNI 25 mm,
- γ_s : Peso specifico della frazione trattenuta al crivello UNI 25 mm.

9.5.4 Portanza

La misura della portanza deve accertare che le prestazioni dello strato finito soddisfino le richieste degli elaborati di progetto e siano conformi a quanto dichiarato prima dell'inizio dei lavori nella documentazione presentata dall'Impresa. La metodologia di indagine impiegata 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 puntuali (Prove di carico su piastra o misure di deflessione) sia prove ad elevato rendimento.

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

9.5.5 Sagoma

La verifica delle quote di progetto va eseguita con procedimento topografico, prevedendo un distanziamento massimo dei punti di misura non superiore a 20 metri. Lo spessore medio deve essere quello prescritto, con una tolleranza in più o in meno del 5% purché tale differenza si presenti solo saltuariamente.