



L' idoneità del terreno di sottofondo in termini di stabilità e portanza: la tecnologia del confinamento laterale in neoloy per incrementarne la portanza e renderlo immediatamente carrabile

STRADE:

L'USO DEL MATERIALE DI DRAGAGGIO COME MATERIALE DA COSTRUZIONE

Fulvio Bolobicchio*

Figura 1



Applicando la tecnica del confinamento laterale in neoloy, è possibile reimpiegare i terreni di sottofondo, a scarse caratteristiche geomeccaniche, nella realizzazione degli strati a maggior rigidità in una sovrastruttura e nel corpo stradale. Ciò a beneficio dell'ambiente, con riduzione dei trasporti, dei macchinari impiegati nelle lavorazioni, dei tempi di realizzazione e della quantità di CO₂ emessa in atmosfera.

Nella progettazione infrastrutturale - quale di un'arteria stradale o di un'area intermodale o un piazzale di stoccaggio - spesso bisogna affrontare la problematica dell'idoneità del terreno di sottofondo in termini di stabilità e portanza. Attualmente, la soluzione deriva dall'impiego di tecniche di stabilizzazione a cemento o a calce che richiedono l'impiego di idonee attrezzature, tempistiche di verifica e controllo continuative. Per i terreni a matrice sabbiosa e sabbiosa debolmente limosa è possibile utilizzare la tecnologia del confinamento laterale in neoloy in modo da stabilizzarli, incrementarne la portanza e renderli immediatamente carrabili. Inoltre, è possibile utilizzare lo stesso terreno per realizzare parti della sovrastruttura che richiedono una maggiore rigidità.

La classificazione dei terreni

Il sottofondo trattabile con tale tecnologia deve appartenere al campo delle sabbie fini/sabbie limose, caratterizzate da una granulometria compresa tra il setaccio n° 270 e il setaccio n° 40.

La classificazione USCS li inserisce nella classe SP, SM, SC, mentre la classificazione AASHTO li inserisce nelle categorie A-3 e A-4 caratterizzati dai parametri riportati in Tabella 1.

| Proprietà | Valori | Valori |
|--|-------------|-------------|
| Classe | A - 3 | A - 4 |
| % passante al setaccio n° 40 (0,425 mm) | 51 minimo | - |
| % passante al setaccio n° 200 (0,075 mm) | 10 max | 36 minimo |
| Limite di liquidità WL | - | 40 max |
| Indice di plasticità IP | N.P. | 10 max |
| Tipi usuali di materiali principali | Sabbia fine | Terre mosse |

Tabella 1

Le caratteristiche meccaniche ed idrauliche

Tali tipi di terreni richiedono la conoscenza dei seguenti parametri necessari alla determinazione delle caratteristiche meccaniche ed idrauliche:

- ◆ caratteristiche identificative (per esempio, curve granulometriche, densità relativa, contenuto di acqua, limite di liquidità, indice di plasticità, ecc.);
- ◆ caratteristiche di resistenza (per esempio, angolo di attrito interno, coesione, resistenze penetrometriche quali N_{SPT} , q_c , ecc.);
- ◆ caratteristiche di deformabilità/compressibilità (per esempio, modulo edometrico, modulo deformazione, modulo di compressibilità, ecc.);
- ◆ caratteristiche di conducibilità idraulica.

Il sito di Genova

Dalle ricerche bibliografiche, la zona portuale del centro ponente della città di Genova è caratterizzabile con il sottofondo rientrante nella categoria delle sabbie/sabbie debolmente limose avente mediamente i seguenti valori:

- ◆ N_{SPT} variabile da 3 a 15;
- ◆ q_c variabile da 1 a 5 MPa;
- ◆ angolo di resistenza al taglio variabile da 25° ai 34°;
- ◆ modulo di deformabilità variabile da 2 a 10 MPa;
- ◆ modulo edometrico variabile da 20 a 20 MPa;
- ◆ compressibilità c_v variabile da 2×10^{-7} m²/s a 2×10^{-6} m²/s;
- ◆ permeabilità k variabile da 5×10^{-10} m/s a 1×10^{-9} m/s.



Il test prestazionale condotto con il sistema di confinamento in neoloy

Con la precisa finalità di verificare “sul campo” le prestazioni ottenibili con tecnica di confinamento in neoloy, l’Autorità Portuale di Genova ha concesso di utilizzare un’area di sua pertinenza da adibire a test prestazionale.

L’area si trova nel sito compreso tra Calata Olii Minerali e Ponte Rubattino, si presenta non pavimentata ed il sottofondo è costituito da materiale di dragaggio.



Figura 2 - Il materiale di dragaggio: sullo sfondo il misto stabilizzato

L’area verrà pavimentata ed adibita allo stoccaggio e alla movimentazione di container. La pavimentazione originaria a progetto prevede uno spessore totale di 1,50 m, parte da realizzarsi in misto cementato e conglomerato bituminoso. Il solo materiale granulare interessa uno spessore totale di 98 cm (valore a finito e addensato; pertanto l’approvvigionamento volumetrico dovrà essere almeno superiore di un fattore moltiplicativo di 1,20).

L’obiettivo del test prestazionale è stato quello di:

- ◆ confrontare le prestazioni ottenibili tra 40 cm di misto stabilizzato, con prestazioni previste a Capitolato, contro 40 cm di materiale di dragaggio confinato nel sistema in neoloy;
- ◆ raggiungimento di una pressione di 5,00 kg/cm², richiesta indotta dalle grandi pressioni trasmesse dai container sulla sovrastruttura.

L’area interessata dal test ha occupato una superficie di 20 m² suddivisi equamente in 10 m² di misto stabilizzato e in 10 m² di materiale di dragaggio confinato con neoloy. La distanza tra le due aree è stata di 2 m, al fine di evitare interferenze durante le misurazioni.



Figura 3 - Il riempimento con il misto stabilizzato da Capitolato

Le caratteristiche prestazionali del sottofondo

Il sottofondo è costituito totalmente da materiale di dragaggio. Alcuni sondaggi eseguiti nelle zone limitrofe al campo prove hanno fornito i seguenti parametri:

- ◆ classificazione A2-4, A3, A4;
- ◆ contenuto d’acqua di ottimo $w_{opt} = 10,3\%$;
- ◆ peso unitario massimo $\gamma_{max} = 1,60 \text{ g/cm}^3$;
- ◆ CBR = 17,62%;
- ◆ CBR_{imb} = 6,43%, pari al valore della prova CBR fatta a completa saturazione;
- ◆ nelle prove DMT l’angolo di attrito interno varia da 25° a 35°.

Gli standard seguiti nella prova

La portanza è stata ricercata in accordo della Norma ASTM D 1194-93, che richiede di sottoporre l’area in esame ad una pressione gradualmente crescente sino a raggiungere il valore di 5 kg/cm², in termini di modulo di deformazione secondo le prescrizioni della Norma CNR UNI n° 146.

La strumentazione è quella normalmente prevista in Italia, ossia costituita da:

- ◆ piastra circolare da 30 cm;
- ◆ martinetto idraulico di 200 kN;
- ◆ manometro analogico di classe 0,5 fondo scala 300 bar;
- ◆ tre comparatori meccanici centesimali.



Figura 4 - La strumentazione

Ricordiamo che, oltre a ciò, vi era la necessità di verificare il comportamento delle aree ad una pressione applicata di 5,00 kg/cm². Il laboratorio utilizzato per il rilevamento rientrava nell’elenco dei laboratori riconosciuti dall’Autorità Portuale di Genova e autorizzati dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti.

Le caratteristiche prestazionali del neoloy impiegato

Per il test è stato impiegato il modello di confinamento di altezza 150 mm, avente le seguenti prestazioni.

| Proprietà | Valore | Unità di misura | Norma | |
|--|--------------------------|-----------------|--------------------------------|-------|
| Coefficiente di espansione termica (CTE) | ≤ 95 | ppm/°C | ISO 11359-2 (TMA) | |
| | | | ASTM E831 | |
| Modulo a flessione del materiale: | alla temperatura di 30°C | MPa | ISO 6721-1 ASTM E2254 (DMA) | |
| | alla temperatura di 45°C | | | > 650 |
| | alla temperatura di 60°C | | | > 550 |
| | alla temperatura di 80°C | | | > 300 |

Tabella 2 - Le prestazioni del sistema neoweb neoloy



I risultati

Il modulo di deformazione sul misto stabilizzato

Dopo aver applicato una pressione di precarico di 0,20 kg/cm², a stabilizzazione della deformazione, si è incrementata la tensione a 0,50 kg/cm².

I successivi incrementi di pressione sono stati realizzati con passo di 0,50 kg/cm², sino a raggiungere il valore di 3,5 kg/cm². Oltre, non è stato possibile andare in quanto non si otteneva un valore stabilizzato delle letture sui cedimenti (valore di permanenza al carico per 20 minuti senza stabilizzazione delle letture).

| Tensione (kg/cm ²) | Tempo di stabilizzazione (min.) | Media di cedimenti (mm) |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 0,20 | 1 | 0,00 |
| 0,50 | 4 | 0,46 |
| 1,00 | 9 | 1,58 |
| 1,50 | 8 | 2,83 |
| 2,00 | 9 | 4,41 |
| 2,50 | 11 | 6,31 |
| 3,00 | 13 | 8,61 |
| 3,50 | Non stabilizzato | 11,35 |
| 3,00 | 2 | 11,35 |
| 2,00 | 2 | 11,26 |
| 1,00 | 3 | 10,89 |
| 0,20 | 3 | 10,21 |
| Secondo ciclo di carico | | |
| 0,20 | 1 | 10,21 |
| 1,00 | 2 | 10,33 |
| 2,00 | 2 | 10,75 |
| 3,00 | 3 | 11,30 |
| 3,50 | Non stabilizzato | 11,95 |
| 3,00 | 2 | 11,95 |
| 2,00 | 2 | 11,87 |
| 1,00 | 2 | 11,52 |
| 0,20 | 2 | 10,87 |

Tabella 3 - I valori tensioni/cedimenti del misto stabilizzato. La permanenza al carico 3,5 kg/cm² per 20 minuti senza stabilizzazione

Si è operato lo scarico e il successivo ricarico raggiungendo nuovamente il valore limite di 3,5 kg/cm² senza stabilizzazione. Pertanto, sul misto stabilizzato non è stato possibile raggiungere il valore di pressione di 5 kg/cm².

Le letture rilevate determinano i seguenti valori del modulo di deformazione al primo ciclo:

- ◆ nell'intervallo tra 0,5 e 1,5 kg/cm² $M_d = 127$ kg/cm²;
- ◆ nell'intervallo tra 1,5 e 2,5 kg/cm² $M_d = 86$ kg/cm²;
- ◆ nell'intervallo tra 2,5 e 3,5 kg/cm² $M_d = 59,5$ kg/cm².

Si noti che la lettura a 3,5 kg/cm² è non stabilizzata.

Il modello di deformazione sul materiale di dragaggio con neoloy

Come in precedenza veniva applicato un precarico di 0,20 kg/cm², un successivo incremento a 0,50 kg/cm² e, a partire da esso, una serie di incrementi di 0,50 kg/cm² sino a raggiungere i 5,0 kg/cm². Segue lo scarico e il ricarico sino a 7,0 kg/cm².

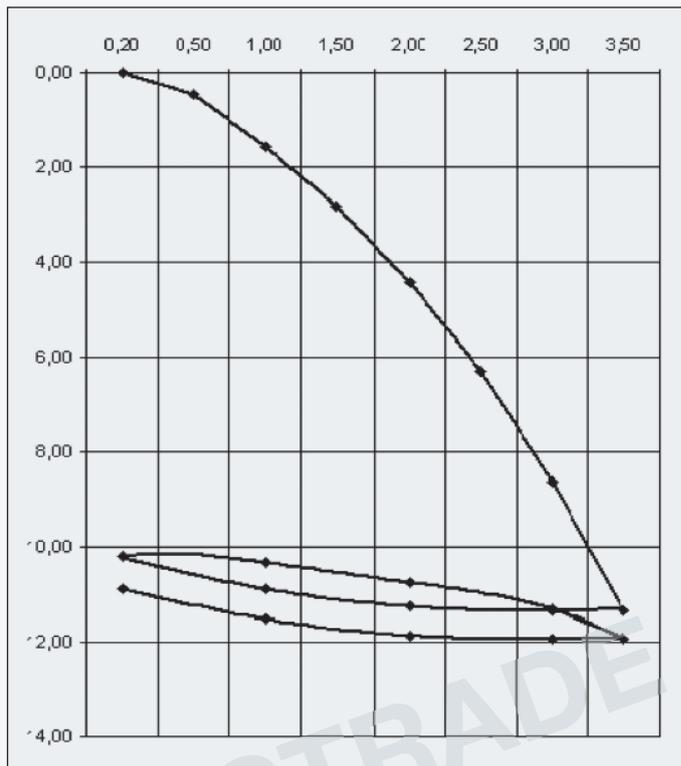


Figura 5 - La curva tensioni/sedimenti del misto stabilizzato



Figura 6 - Il riempimento del sistema in neoloy con il materiale di dragaggio

Dalla curva tensioni cedimenti (Tabella 4) si rileva l'andamento lineare, indice di risposta in campo elastico.

Quindi era possibile arrivare a valori di pressione ben superiori. Il valore del modulo di deformazione al primo ciclo (come nel caso precedente) è stato pari a:

- ◆ nell'intervallo tra 0,5 e 1,5 kg/cm² $M_d = 199$ kg/cm² (+1,6 caso con misto stabilizzato);
- ◆ nell'intervallo tra 1,5 e 2,5 kg/cm² $M_d = 229$ kg/cm² (+2,7 caso con misto stabilizzato);
- ◆ nell'intervallo tra 2,5 e 3,5 kg/cm² $M_d = 243$ kg/cm² (+4,1 caso con misto stabilizzato).



| Tensione (kg/cm ²) | Tempo di stabilizzazione (min.) | Media di cedimenti (mm) |
|--------------------------------|---------------------------------|-------------------------|
| 0,20 | 1 | 0,00 |
| 0,50 | 2 | 0,42 |
| 1,00 | 5 | 1,24 |
| 1,50 | 5 | 1,93 |
| 2,00 | 5 | 2,62 |
| 2,50 | 5 | 3,24 |
| 3,00 | 5 | 3,85 |
| 3,50 | 6 | 4,47 |
| 4,00 | 5 | 5,05 |
| 4,50 | 5 | 5,64 |
| 5,00 | 8 | 6,29 |
| 4,00 | 2 | 6,29 |
| 3,00 | 2 | 6,19 |
| 2,00 | 2 | 5,96 |
| 1,00 | 2 | 5,57 |
| 0,20 | 3 | 4,81 |
| Secondo ciclo di carico | | |
| 0,20 | 1 | 4,81 |
| 1,00 | 2 | 4,88 |
| 2,00 | 2 | 5,21 |
| 3,00 | 2 | 5,57 |
| 4,00 | 2 | 5,96 |
| 5,00 | 5 | 6,57 |
| 5,50 | 4 | 6,95 |
| 6,00 | 6 | 7,52 |
| 6,50 | 7 | 8,15 |
| 7,00 | 7 | 8,70 |
| 6,00 | 2 | 8,70 |
| 5,00 | 2 | 8,65 |
| 4,00 | 2 | 8,51 |
| 3,00 | 2 | 8,30 |
| 2,00 | 2 | 8,00 |
| 1,00 | 2 | 7,46 |
| 0,20 | 4 | 6,64 |

Tabella 4 - I valori tensioni/cedimenti del materiale di drenaggio confinato nel neoloy



Figura 8 - L'immediata transitabilità sul sistema in neoloy

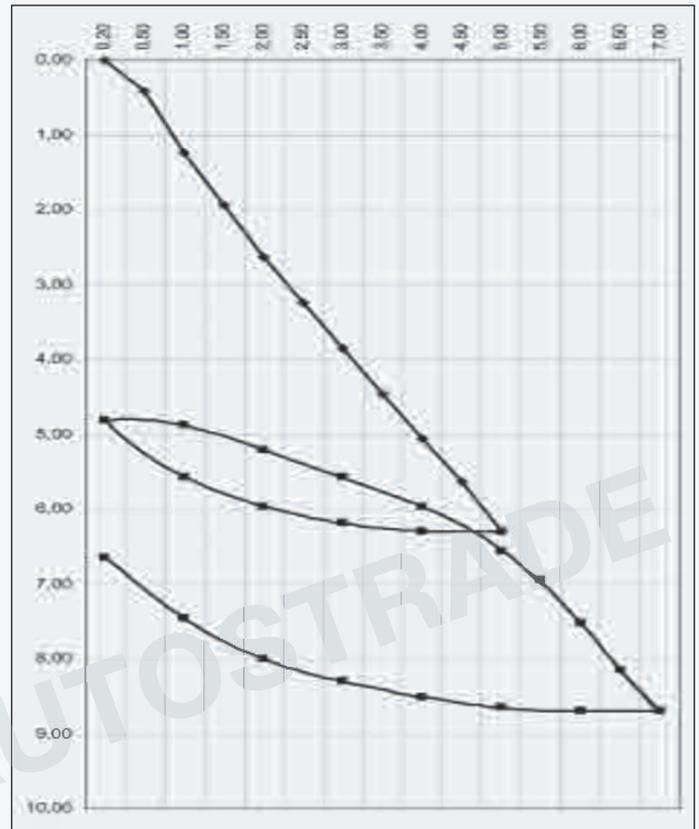


Figura 7 - La curva tensioni/cedimenti del materiale di drenaggio stabilizzato nel neoloy

Il modulo sul misto stabilizzato

In conformità della Norma ASTM D 1194-93 è stato possibile determinare il valore del modulo costituito da stabilizzato e sottofondo.

La formula di determinazione è la seguente:

$$E = 0,79 \cdot (1 - \mu^2) \cdot D \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \quad (1)$$

dove:

0,79 = costante della piastra

D = diametro della piastra (in centimetri)

p = pressione trasmessa alla piastra (kg/cm²)

s = cedimento (in centimetri)

μ = coefficiente Poisson

Il valore ottenuto per il modulo con stabilizzato E = 56,0 kg/cm².

| Pressione trasmessa alla piastra (kg/cm ²) | Cedimento rilevato (cm) |
|--|-------------------------|
| 1,5 | 2,83 |
| 3 | 8,61 |

Tabella 5

La capacità portante sul materiale di dragaggio confinato con struttura in neoloy

Come per il caso dello stabilizzato, seguendo la Norma ASTM D 1194-93, si è determinato il valore del modulo costituito da materiale dragaggio confinato con neoloy e sottofondo:

$$E = 0,79 \cdot (1 - \mu^2) \cdot D \cdot \frac{\Delta p}{\Delta s} \quad (2)$$



dove:

0,79 = costante della piastra

D = diametro della piastra (in centimetri)

p = pressione trasmessa alla piastra (kg/cm²)

s = cedimento (in centimetri)

μ = coefficiente di Poisson

| Pressione trasmessa alla piastra (kg/cm ²) | Cedimento rilevato (cm) |
|--|-------------------------|
| 1 | 1,24 |
| 4,5 | 5,64 |

Tabella 6

Il valore del modulo con materiale da dragaggio è E = 171,0 kg/cm², ossia +3,05 rispetto al caso con stabilizzato.

| Tensione (kg/cm ²) | Differenza dei cedimenti | |
|--------------------------------|--------------------------|---------|
| | (mm) | (%) |
| 1,5 | - 0,90 | - 31,8% |
| 2 | - 1,59 | - 36,1% |
| 2,5 | - 3,07 | - 48,7% |
| 3 | - 4,76 | - 55,3% |
| 3,5 | - 6,88 | - 60,6% |
| Due ciclo di carico | | |
| 0,2 | - 5,40 | - 52,9% |
| 1 | - 5,45 | - 52,8% |
| 2 | - 5,54 | - 51,5% |
| 3 | - 5,73 | - 50,7% |



Figura 9 - L'esecuzione della prova

Tabella 7 - La riduzione dei cedimenti rilevati tra misto stabilizzato e materiale di dragaggio confinato con neoloy

I benefici indotti dal sistema di confinamento

L'uso del sistema di confinamento neoweb in neoloy consente di:

- ◆ utilizzare il materiale di dragaggio in sostituzione al misto stabilizzato;
- ◆ il materiale di dragaggio viene migliorato prestazionalmente con valori tali da ottenere prestazioni tre volte superiori a quelle fornite dal misto stabilizzato (a parità di spessore e di area);
- ◆ riduzione degli spessori della pavimentazione prevista originariamente a progetto del 50%;
- ◆ riduzione del 50% del movimento terra originariamente previsto;
- ◆ riduzione del 100% del costo di approvvigionamento del misto stabilizzato;
- ◆ eliminare dall'ambiente il 50% dei volumi di trasporto interessanti la viabilità;
- ◆ riduzione dei costi di trasporto del 50%;
- ◆ riduzione del 50% sui tempi di costruzione;
- ◆ migliore è la qualità del riempimento, migliore è la prestazione ottenibile. ■

* Ingegnere Responsabile del Settore Strade di Harpo SpA, Divisione Seic Geotecnica

