

worldwide leader in the foundation engineering field



REFERENZA TECNICA - TECHNICAL REFERENCE



# Group III Base Oil Production Facilities

Ruwais, U.A.E.



**Iniezioni  
Grouting**

**Micropali  
Micropiles**

Cliente :  
Owner: EMIRATE OF ABU DHABI

Contrattista principale :  
Main Contractor : HYUNDAI Engineering Co. Ltd.

Durata dei lavori :  
Duration of works: 2013 - 2015

## Introduzione

Nel luglio 2013, M/S Hyundai Engineering Co. Ltd, Contrattista Principale per la costruzione degli Impianti di Produzione di Oli Base Gruppo III (BOU) di Takreer, Impianto Ruwais, Emirato di Abu Dhabi, si è rivolto a M/S Swissboring Overseas Piling Corporation per risolvere le problematiche di cedimento che hanno interessato le fondazioni del Pipe Rack principale. A quel tempo l'intero progetto era in fase di completamento e il cedimento totale sotto la fondazione colpita (A-19) era pari a circa 110 mm.

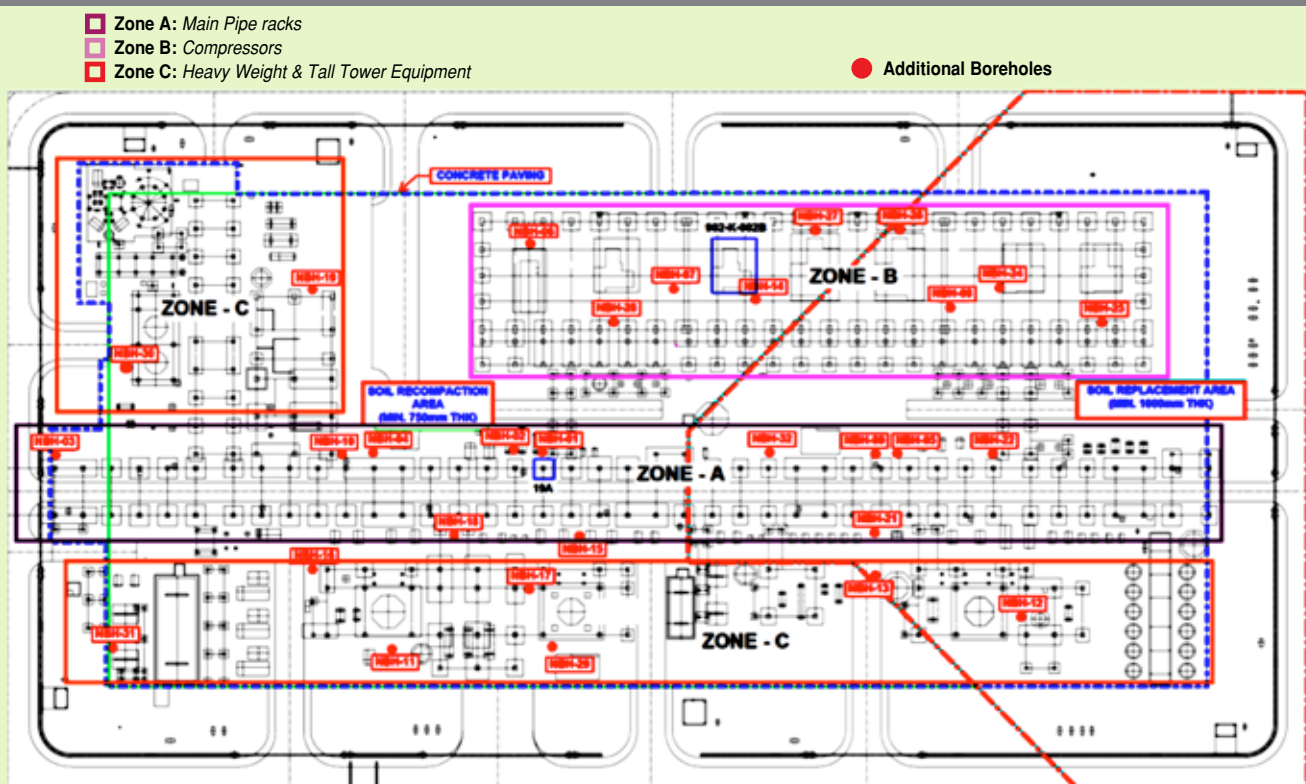
Una ricognizione preliminare indicava che il sito era stato livellato usando materiale di riempimento strutturale per uno spessore di circa 5 m e la fondazione poggiava su materiali di

## Introduction

In July 2013, M/S Hyundai Engineering Co. Ltd, the Main Contractor for the construction of the Group III Base Oil Productions Facilities (BOU) in Takreer, Ruwais Facility, Emirate of Abu Dhabi contacted M/S Swissboring Overseas Piling Corporation for the settlement issues affecting for the Main Pipe Rack foundations.

The whole project was on the verge of completion at that time and the total settlement under the affected foundation (A-19) was about 110 mm.

Reconnaissance survey indicated the site was graded using structural fill material for a thickness of approximately 5 m and the foundation was resting on filled materials.



Plan showing BOU Zone A - B - C

riempimento. I dettagli concernenti le proprietà del materiale utilizzato per il riempimento e le procedure adottate per la compattazione non ci erano note in quella fase.

### Fase - I

Swissboring ha risposto immediatamente alla situazione allarmante proponendo un sistema di compaction grouting attraverso fori inclinati eseguiti lungo le 3 parti accessibili, sulla base di tre fori per sondaggio geotecnico eseguiti per esaminare e valutare le condizioni del suolo.

Tali fori hanno rilevato materiale di riempimento scarsamente consolidato e la presenza di un precipitato di sale cristallino nell'interfaccia tra terreno pre-esistente/materiale di riempimento. A seguito dell'indagine geotecnica, un piano di iniezione di prova è stato proposto ed eseguito presso un'area indipendente adiacente alla fondazione in questione per otti-

Details regarding the properties of the material used for back-filling and the procedures adopted for compaction were not available to us at that stage.

### Phase - I

Swissboring responded immediately to the alarming situation and proposed compaction grouting system through inclined holes drilled along the accessible 3 sides, based on three Geotechnical boreholes drilled to examine and assess the soil conditions.

These boreholes indicated poorly consolidated fill material and presence of crystalline salt precipitate at the interface between pre-existing ground/Fill material. Following the geotechnical investigation, a trial grouting plan was suggested and performed at an independent area adjoining the affected foundation for optimizing the grout mix design.

mizzare la progettazione della miscela di iniezione. La perforazione è stata eseguita utilizzando un sistema di avanzamento dei tubi di rivestimento NW e boiaccia simile alla malta è stata applicata a tratti uguali di 0,50 m, eseguendo iniezioni in risalita. La verifica dei fori effettuata in seguito all'operazione di iniezione ha permesso di riscontrare un netto miglioramento della densità del suolo e, di conseguenza, un incremento dei relativi valori di capacità portante. In quel periodo, l'indagine di controllo ha mostrato cedimenti circoscritti in una delle fondazioni del pesante compressore. Tali casi di cedimento hanno spinto M/s Hyundai a valutare nuovamente le condizioni del sottosuolo delle aree vulnerabili come strategia preventiva. Swissboring ha intrapreso la sfida adottando un approccio sistematico per eseguire l'Indagine geotecnica

*Drilling was performed using an NW casing advancer system and mortar-like grout was applied in equal stages of 0.50 m performing "upstage" grouting. Post grout verification boreholes indicated vast improvement in soil densities and thereby increased bearing capacity values. During these periods, a monitoring survey indicated limited settlement in one of the heavy compressor foundations. These instances of settlements prompted M/s Hyundai to reassess the subsurface conditions of vulnerable areas as a preventive strategy. Swissboring undertook the challenge by systematic approach to perform Geotechnical Investigation to study the subsurface conditions. It was noticed that subsurface soil in the BOU area was highly heterogeneous with variations in prefilled ground levels, type of fill materials, degree of conso-*



Drilling activities



volta a esaminare le condizioni del sottosuolo. È stato osservato come il sottosuolo nell'area BOU fosse estremamente eterogeneo con variazioni nei livelli del suolo preriempiti, rilevando altresì il tipo di materiali di riempimento, il grado di consolidamento e la presenza di sale cristallino. Sulla base di questi risultati, proposte risolutive fondate sull'installazione di micropali e/o misure preventive per mezzo di iniezioni (nei casi in cui la fattibilità per l'esecuzione di micropali non era disponibile a causa dei servizi interrati sotto il basamento) sono state suggerite da Swissboring e approvate dal Contrattista Principale e dal cliente. Di conseguenza, le fondazioni interessate sono state trattate in misura preventiva/di riparazione in base alle condizioni del sito.

L'effettivo miglioramento del suolo dato dall'operazione di grouting ha trovato conferma nella verifica dei fori eseguiti in seguito alla fase di iniezione.

*lidation and presence of crystalline salt. Based on these results, remedial proposals focusing on the installation of micro piles and/or preventive measures by Grouting (in cases where feasibility for constructing Micropile was not available due to buried services over foundation footing) were suggested by Swissboring and approved by the main Contractor and the client. Accordingly, the susceptible foundations were treated as preventive/remedial measures as per the site conditions.*

*Effectiveness of soil improvement by grouting was confirmed by verification boreholes drilled during the post grouting stage.*

Per la corretta identificazione ed esecuzione sistematica, l'area affetta è stata classificata in tre zone e le quantità dei lavori eseguiti sono presentate nella seguente tabella.

*For the proper identification and systematic execution, the affected area was classified into three zones and quantities of works carried out are tabulated below.*

<b>Zona / Zone</b>	<b>N° di / No. of Sondaggi geotecnici / Geotechnical boreholes</b>	<b>N° di / No. of Fori di Iniezione (Q.tà boiaccia) / Grout hole (Grout Q.ty)</b>	<b>N° di / No. of Fori di controllo / Verific. boreholes</b>	<b>N° di / No. of Micropali / Micropiles</b>
<b>Zone A - Pipe Rack Principale / Main Pipe Rack</b>	<b>14</b>	<b>148 (463.3 m<sup>3</sup>)</b>	<b>7</b>	<b>0</b>
<b>Zone B - Compressore / Compressor</b>	<b>9</b>	<b>161 (586.3 m<sup>3</sup>)</b>	<b>7</b>	<b>22</b>
<b>Zone C - Attrez. di peso elevato / Heavy Weight Equip.</b>	<b>9</b>	<b>7 (12.1 m<sup>3</sup>)</b>	<b>1</b>	<b>0</b>



I lavori di riparazione inizialmente previsti per una sola fondazione sono stati gradualmente estesi a un'area più grande e ampia corrispondente a circa il 50% dell'area complessiva di 60.000 m<sup>2</sup> per gli impianti della BOU. 32 sondaggi geotecnici - tra 5 m e 20 m di profondità - sono stati eseguiti nella campagna di indagine geotecnica. Nell'area affetta del compressore sono stati eseguiti 22 micropali - diametro 250 mm-, ad una profondità media di 12 m, seguiti dall'installazione e iniezione di tubazione in acciaio senza saldatura, utilizzata come armatura, con diametro 88,9 mm e munita di barre a U e di piastra superiore con 150 mm di diametro.

Durante la campagna sono stati inoltre eseguiti 316 fori d'iniezione con 99 mm di diametro a una profondità di circa 6,50 m.

*Consequently, the remedial works initially meant for a single foundation were gradually spread to a larger and wider area extending to almost 50% of the total area of 60,000 sqm for the BOU facilities. A total of 32 nos. Geotechnical boreholes extending from 5 m to 20 m below ground level were drilled as part of the geotechnical investigation campaign.*

*A total of No. 22 micropiles were executed at the affected compressor area. The micropiles were 250 mm dia. extending to an average depth of 12 m followed by the installation and grouting of a 88.9 mm dia. seamless steel pipe, which acts as reinforcement, fitted with U-bars a 150 mm dia. top plate. 316 Grout holes having 90 mm of dia to a depth of approximate 6.50 m were also carried during this campaign.*

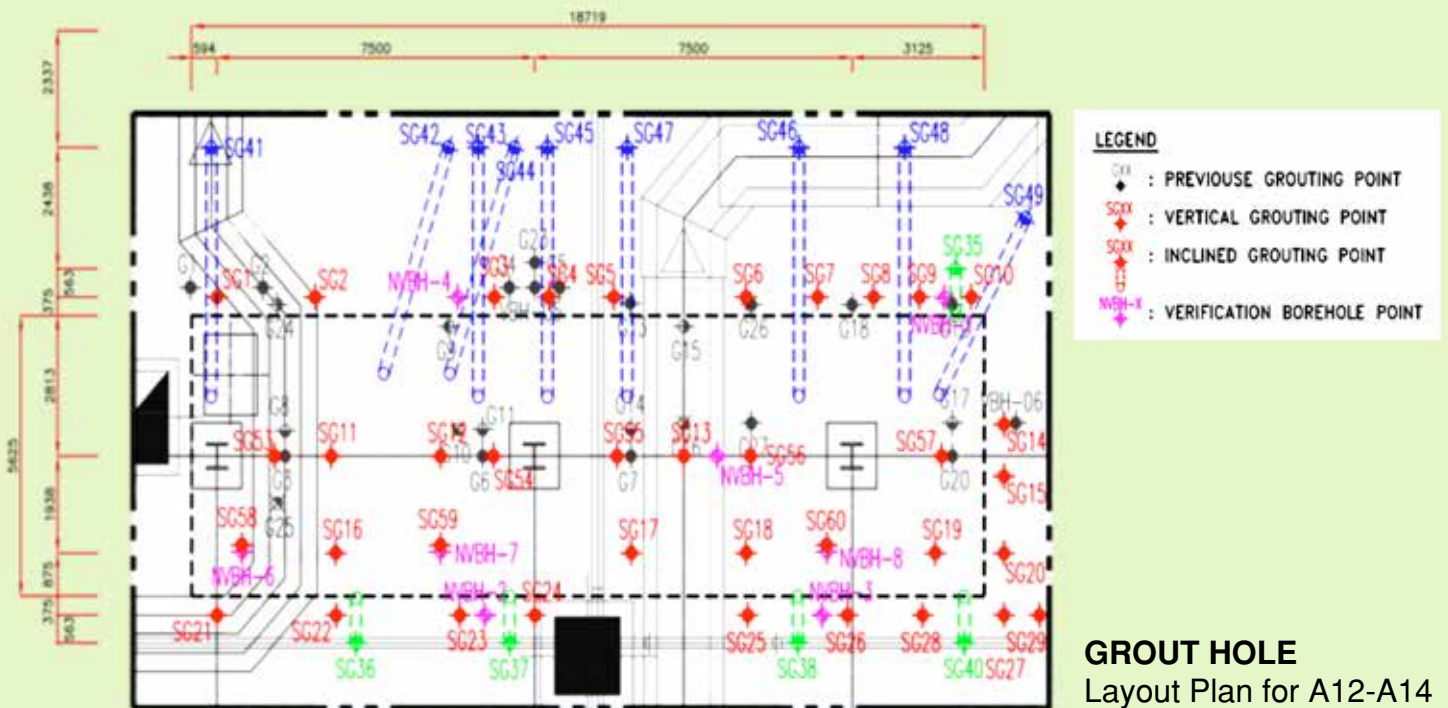
## Fase - II

Nel marzo 2015, a causa di nuove possibilità di cedimento nelle aree del Pipe Rack principale, fondazioni combinate A12-A14, Hyundai & Takreer hanno ritenuto necessario stabilire le cause alla base di tali problemi di cedimento ed è quindi stato convenuto tra il Cliente M/S Takreer, i Consulenti della Gestione del Progetto M/S Technip Italy e il Contrattista Principale M/S Hyundai di eseguire studi geofisici al fine di verificare l'estensione dell'area in cattive condizioni coinvolgendo nuovamente Swissboring per far fronte a tali problemi. M/S Andam International LLC, società specializzata in lavori geofisici con sede nel Sultanato dell'Oman è stato incaricato da Swissboring per effettuare studi geofisici, come per esem-

## Phase - II

In March 2015 due to new exposures in the settlement affecting the A12-A14 combined foundation at Main Pipe Rack areas, Hyundai & Takreer were keen to establish the root causes of these settlement problems and accordingly, it was agreed between the Client M/S Takreer, the Project Management Consultants M/S Technip Italy and the Main Contractor M/S Hyundai to carry out Geophysical studies to verify the extent of this worse area and, hence, Swissboring was called again to address these issues.

M/S Andam International LLC, a specialized company in Geophysical works, based in Sultanate of Oman was appointed by Swissboring to carry out the Geophysical studies and as



pio quelli relativi al metodo MASW (*Analisi Multicanale delle Onde Superficiali*). Tale indagine è stata realizzata nell'area del Pipe Rack principale di circa 270 m x 15 m.

Allo stesso tempo, studi geofisici sono stati estesi all'area del compressore mentre un'indagine di tomografia sismica "cross-hole" è stata effettuata nell'area della fondazione del compressore. A essa ha fatto seguito l'esecuzione di 54 fori di ispezione su tutta l'area BOU inclusa l'area IST (*Serbatoio Stoccaggio Intermedio*). Tali fori includono locazioni suggerite in aggiunta dai consulenti esterni di PMC, SGI Italia. I dati del sottosuolo rilevati da questi fori unitamente ai dati della Fase I sono stati utilizzati per delineare aree caratterizzate da suolo con scarsa qualità/precipitato di sale che potrebbero essere soggette a cedimenti.

Le attività di riparazione previste nella Fase -II hanno avuto inizio nell'aprile 2015 e sono state terminate nel novembre 2015.

such they performed MASW (*Multi Channel Analyses of Surface Waves*) methods. This survey was performed in the Main Pipe rack area of approximately 270 m x 15 m.

In the meantime, Geophysical studies were extended to the Compressor area and Cross hole seismic Tomography survey was carried out at the compressor foundation area. This was followed by 54 investigation boreholes spread throughout the BOU area including the IST. These boreholes include locations additionally suggested by the PMC's third party consultants M/s SGI, Italy. Sub surface data from these boreholes along with data from Phase-I were used to delineate poor soil/salt precipitate areas which could be susceptible to settlements.

Phase II Remedial activities commenced in April 2015 and were completed in November 2015.

I lavori sono stati concentrati nelle fondazioni affette quali:

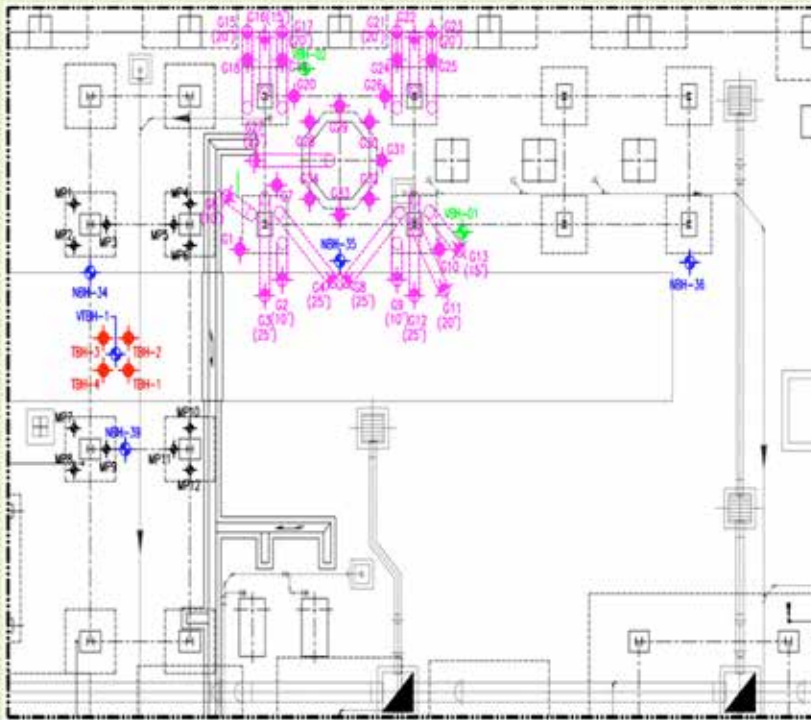
- 1) A12-A14 nel Pipe Rack principale,
- 2) Piattaforma di accesso al Sub Pipe Rack-2,
- 3) Fondazione del Reattore,
- 4) IST
- 5) Aree del basamento del BOU attraverso operazioni di grouting, costruzione di micropali e combinazione delle due.

A causa delle limitazioni per la costruzione di micropali, la fondazione A12-A14 è stata trattata con una combinazione di fori d'iniezione verticali e angolari, supportata esternamente da 6 micropali, mentre nell'area della Piattaforma di Accesso al Sub Pipe Rack sono state eseguite iniezioni angolari e verticali e costruiti micropali attraverso il basamento esistente. Nelle aree soggette a interventi di iniezione, sono state effettuate verifiche

The works were concentrated on affected foundations such as:

- 1) A12-A14 in Main pipe Rack,
- 2) Access Platform Sub Pipe Rack-2,
- 3) Reactor Foundation,
- 4) IST
- 5) BOU pavement areas, by grouting, construction of micropiles and a combination of both.

Due to limitations to construct micropiles, the A12- A14 foundation was treated with a combination of vertical and angular grout holes and externally supported by No. 6 no. micropiles, while in the Access Platform Sub Pipe Rack area Vertical, Angular Grouting and Construction of micropiles through the existing footing were carried out. In cases of Grouted areas, post grout verification boreholes were carried out to establish



**LAYOUT PLAN** for Access Platform Sub Pipe Rack-2



dei fori a posteriori al fine di identificare miglioramenti delle caratteristiche del suolo e della relativa capacità portante. Per il Reattore/Pipe Rack principale e per il basamento dell'IST/BOU/pompa del compressore sono stati impiegati diverse tipologie di micropali a seconda del peso e della costruzione.

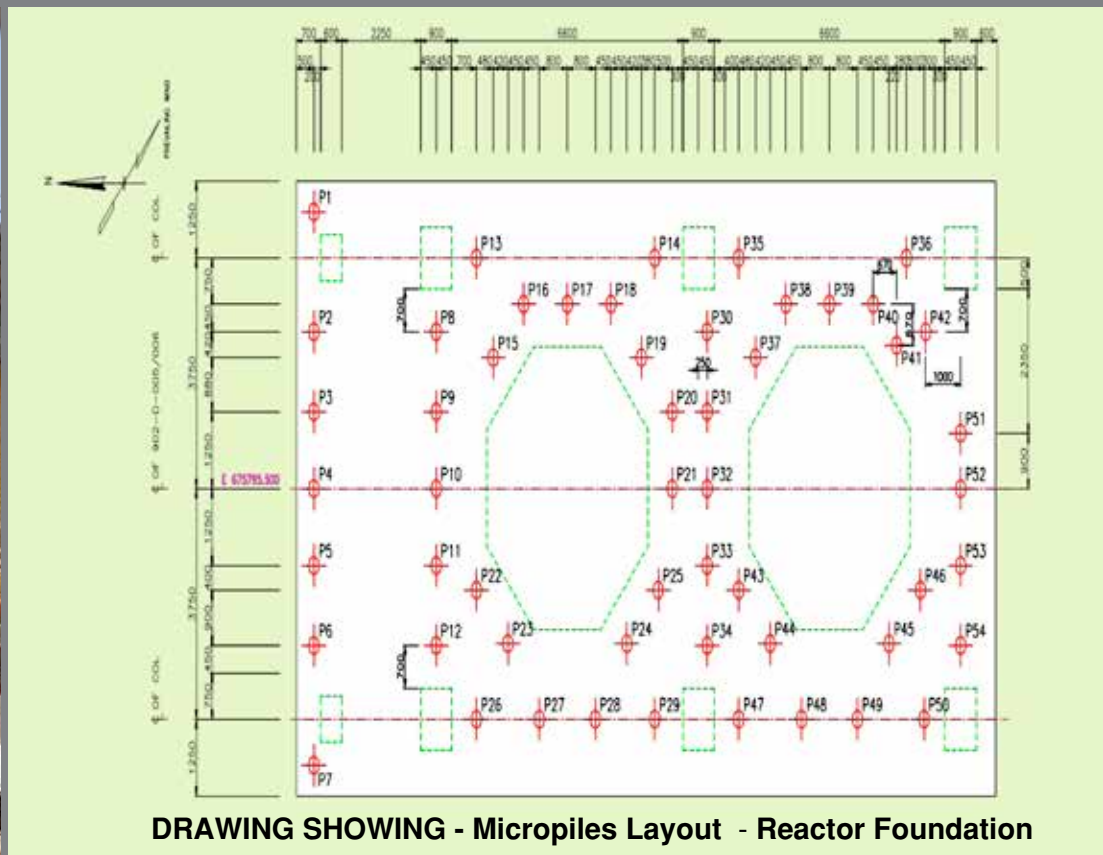
Per il Reattore/Pipe Rack principale, sono stati progettati micropali con 300 mm di diametro e 14 m di lunghezza e tubo senza saldature avente 141,3 mm di diametro e 12,7 mm di spessore come rinforzo. La difficoltà maggiore nell'eseguire questi pali nella Fondazione del Reattore è stata la perforazione di 800 mm di basamento in calcestruzzo poiché caratterizzato da diversi livelli di rinforzi in acciaio, spazi limitati e ridotta altezza di ingombro in cui operare. Per il basamento delle aree IST/BOU/Pompa del compressore sono stati impiegati micropali con 200 mm di diametro e 9 m di lunghezza e tubo senza saldature avente 88,9 mm di diametro e 11,1 mm di spessore come rinforzo.

improvement of soil characteristics and bearing capacity. Different designs for micropiles depending on load and construction were used for Reactor/Main Pipe Rack and for IST/BOU/Compressor pump footing.

For Reactor/Main Pipe Rack, Micropiles were designed with 300 mm dia, 14 m length and with a seamless pipe as reinforcement with 141.3 mm of dia, 12.7 mm of thickness. The challenging task for executing these micropiles at Reactor Foundation was drilling through 800 mm of concrete footing having different layers of steel reinforcements and limited space and head room to operate.

While for IST/BOU/Compressor pump Footing the Micropile design was 200 mm dia, 9 m length with 88.9 mm dia, 11.1 mm thickness seamless pipe as reinforcement.

REMEDIAL WORK LOCATION	N° di / No. of Fori di Iniezione (Q.tà boiaccia) Grout hole (Grout Q.ty)	N° di / No. of Fori di controllo Verific.boreholes	N° di / No. of Micropali Micropiles
Pipe Rack Principale /A12- A14 Main Pipe Rack	51 ( 83.2 m³)	8	6
Piattaforma di accesso / Access Platform Sub Pipe Rack-2	55 ( 91.0m³)	3	12
Fondazione del reattore / Reactor Foundation	0	0	54
Pipe Rack Principale / Zone A Main Pipe Rack	0	0	24
Base di appoggio / Footing Pad of Pump Compressor 902-K-002-B	0	0	4
IST	0	0	14
Basamento / BOU pavement	0	0	16



**DRAWING SHOWING - Micropiles Layout - Reactor Foundation**

### Conclusioni

I lavori di Riparazione/Prevenzione nell'area BOU per il progetto relativo agli Impianti di Produzione di Oli Base Gruppo III di Takreer hanno rappresentato un compito impegnativo date le condizioni del sottosuolo, lo spazio limitato, la ridotta altezza di ingombro così come gli innumerevoli servizi in tempo reale. Inoltre il prolungamento del programma di commissioning causato dai problemi legati ai cedimenti ha reso necessario un calendario serrato per rispettare i lavori di riparazione programmati.

Con la conclusione dei lavori di riparazione e di accertamento delle condizioni del suolo, i lavori di precommissioning (*Asciugatura/Immissione gas*) sono cominciati il 28 ottobre 2015 e il carico completo delle strutture è stato completato il 15 dicembre 2015.

### Conclusion

*Remedial/Preventive works at Takreer's Group III Base Oil Project BOU area represented an extremely challenging task with high complexities of the subsurface conditions, limited space, head room and innumerable live services. Added to what mentioned above the overrun schedule for commissioning due to settlement issues has made it necessary a stringent tight work schedule for contemplating programmed remedial works.*

*With successful completion of remedial works and ascertainment of ground conditions, pre commissioning works (Dry out /Gas inlet) commenced on October 28, 2015 and full load on structures are expected to be completed by December 15, 2015.*



5819, via Dismano - 47522 Cesena (FC) - Italy  
Tel. +39.0547.319311  
Fax +39.0547.318542  
e-mail: [intdept@trevispa.com](mailto:intdept@trevispa.com)  
[www.trevispa.com](http://www.trevispa.com)

