

worldwide leader in the foundation engineering field



REFERENZA TECNICA - TECHNICAL REFERENCE



Lungarno “ Torrigiani ”

Messa in Sicurezza
Embankment protection works

Florence, Italy



Rigid Inclusion
Rigid Inclusion

Micropali
Micropiles

Pali Elica Continua
Continuous Flight Auger

Opere Civili
Civil Works

Cliente :
Owner :

COMUNE DI FIRENZE - MUNICIPALITY OF FLORENCE

Contrattista principale :
Main Contractor :

PUBLIACQUA SpA

Durata dei lavori :
Duration of works:

139 gg (Luglio July - Novembre November 2016)

Introduzione

Nel maggio 2016 il muro spondale in corrispondenza del Lungarno Torrigiani ha subito un collasso strutturale per un tratto lungo circa 80 m, con uno spostamento di circa 3 m verso il fiume Arno, formando una voragine profonda fino a circa 3,5 m.

Le operazioni di ripristino richiedevano grande cura a causa della particolare ubicazione (a poche centinaia di metri da Ponte Vecchio, in pieno centro storico di Firenze) e allo stesso tempo per le strette tempistiche che richiedevano di completare la messa in sicurezza del muro di protezione

Introduction

In May 2016 the Torrigiani river wall underwent a structural collapse for 80 m length, causing a 3 m displacement towards the Arno river.

Restoration works demanded great care because of the jobsite location positioned in the city centre, and due to tight schedule: the river wall had to be restored by early November.

The envisaged solution entailed the construction of a statically and hydraulically functional structure at the rear of the existing wall. This structure should completely replace the



entro inizio di novembre, periodo in cui si possono verificare le piene dell'Arno.

La soluzione progettuale individuata prevedeva di costruire una struttura a telaio staticamente e idraulicamente autonoma a tergo della parete esistente, in grado di sostituire completamente il muro danneggiato.

Inoltre il consolidamento strutturale del muro era volto a:

- **garantire la sicurezza** della Galleria Poggi e degli edifici esistenti a ridosso del dissesto;
- **ridurre le pressioni e sollecitazioni** sulla parete esistente migliorandone così la stabilità e garantendone la protezione idraulica contro le inondazioni dell'Arno;
- consentire il **ripristino della condotta dell'acqua e la circolazione stradale sul Lungarno.**

damaged river wall that will be consolidated and kept in the current position.

The wall's structural consolidation was aimed at:

- **ensuring the safety** of Galleria Poggi and of the existing buildings;
- **minimising pressures and stresses** on the existing wall thus improving its stability; ensuring hydraulic protection against Arno river floods;
- **restoring the water sewer and road traffic along the Lungarno.**

L'intervento Trevi

La necessità di completare l'opera di consolidamento, ripristino strutturale e protezione idraulica prima dell'arrivo dell'inverno e scongiurare così il rischio dovuto alle possibili piene dell'Arno, ha imposto all'ente appaltante una procedura di "somma urgenza" nell'assegnazione dei lavori e conseguentemente nella selezione e nel conferimento dell'incarico alla Trevi.

Oltre che per la grande esperienza in lavori di consolidamento, Trevi è stata selezionata per la sua capacità di combinare una elevata potenzialità operativa e progettuale. Infatti il progetto

Trevi's intervention

Consolidation works, structural restoration and hydraulic protection had to be completed before winter, to avoid any risk of river floods. Trevi was awarded the contract under "urgent procedure". Trevi was selected thanks to its long lasting experience in consolidation works and the ability to combine high operating capacity (personnel working 24/7 (on three shifts), and equipment made available at very short notice) with a strong design capacity.

The company's Design, Research and Development (DRD)



richiedeva la messa a disposizione in tempi strettissimi di personale in turno ed attrezzature in grado di lavorare senza interruzioni 24 ore, 7 giorni su 7.

La presenza all'interno dell'azienda di un settore Progetti, Ricerca e Sviluppo (PRS) che fin dalle primissime fasi ha collaborato con i tecnici del Committente all'ideazione ed allo sviluppo delle soluzioni progettuali, è risultata infatti determinante nella corsa contro tempo, visto che le attività di cantiere e la progettazione sarebbero dovute procedere quasi in parallelo.

La sequenza operativa si è basata sul principio di incrementare progressivamente la stabilità e la sicurezza strutturale sia delle opere esistenti che di quelle in corso di esecuzione, così da operare costantemente in condizioni di sicurezza accettabili.

Department has been collaborating with the client's engineers since the start of the project to the development of the design solutions. Given the urgency of the project, the DRD played a crucial role, since in the first phase of works, design activities and job site works had to be carried out almost simultaneously.

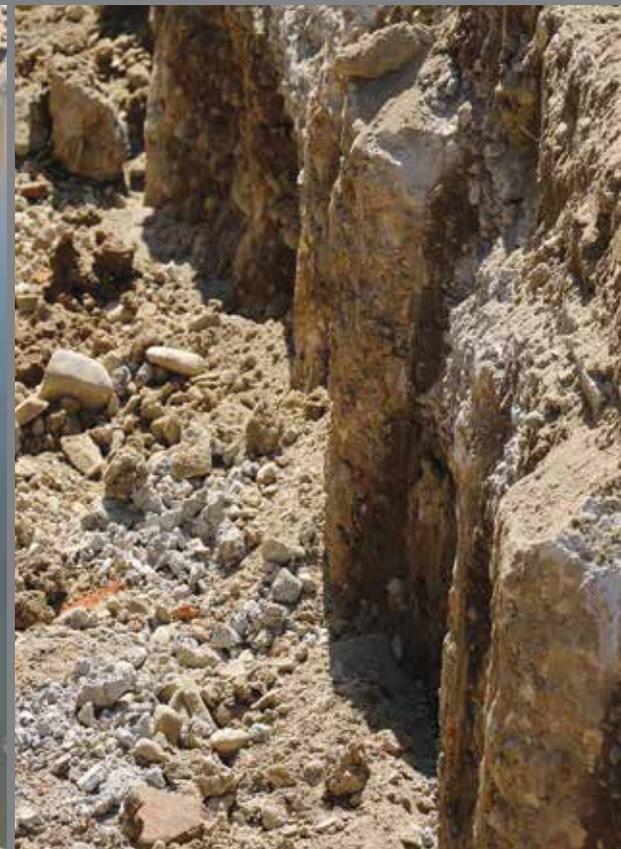
The operating sequence is based on the principle of "progressively increasing structural stability and safety" of both existing and ongoing structures so as to always work under acceptable safety conditions.

In dettaglio la soluzione progettuale prevedeva le seguenti attività:

- In base ai rilievi fatti ed alle indagini geognostiche svolte immediatamente dopo l'evento, la prima attività è stata la realizzazione di "**rigid inclusion**" per il consolidamento del volume di terreno smosso e dislocato dall'evento di dissesto, in modo da "irrobustire" il terreno e formare un piano di lavoro stabile per poter utilizzare le attrezzature necessarie alle successive lavorazioni.
- **Micropali inclinati**, realizzati da entrambi i lati, incrociati a cavalletto ed "inghisati" all'interno del muro, con funzione di consolidamento e sottofondazione della struttura nella zona

The design solution included the following activities:

- *Based on the surveys and soil investigations carried out soon after the incident, the first stage of works involved the construction of "**rigid inclusions**" for the consolidation of the soil volume dislodged and displaced by the collapse, in order to consolidate the soil and create a stable work surface for the equipment.*
- ***Raked micropiles**, embedded into the wall from both sides, were carried out as foundation and underpinning structures to improve wall stability;*



dislocata.

- **Barre autoperforanti**, iniettate con miscela cementizia, per il rinforzo e ricomprensione del terreno allentato alla base del muro, realizzate da lato fiume.
- Fondazioni della struttura a telaio, realizzate mediante una doppia fila di **pali elica continua \varnothing 600 mm**, e nella zona della cuspide, una seconda "berlinese" di micropali \varnothing 300 mm in corrispondenza dei vecchi pali in legno presenti alla base del muro.
- **Opere civili**: movimenti terra (*scavi e re-interri*), realizzazione della struttura a telaio, formata da travi in c.a. di coronamento dei pali/micropali, muro verticale di sostegno e di contenimento del terreno, posa in opera nuove condotte idriche, ripristino del piano stradale (*asfaltatura, marciapiede e parapetto*).

- *Hollow steel bars injected with cement grout were installed to strengthen and compact loose soil below the base of the wall;*

- *The foundation of the frame structure was carried out by means of a double row of **CFA piles (\varnothing 600 mm)**; a second micropiles' retaining wall, to support the frame in the cusp area, was installed near the displaced river wall and next to the old foundation consisting of wooden piles.*

- ***Civil works** entailed earth movements, realisation of concrete beams and slab and of a vertical wall for soil support, installation of new water sewer and restoration of the road Surface (*asphalting, side walk and historical brick guard-rail*).*

• **Risarciture delle lesioni** del muro storico per mezzo di iniezioni e stuccature operando prevalentemente dalla pista di servizio, posta sul lato Arno.

Nelle fasi operative sono state impiegate attrezzature di produzione Soilmec, società del Gruppo Trevi che progetta e realizza macchine per opere di fondazioni speciali.

Durante lo svolgimento di tutte le attività di cantiere, il muro dislocato e le strutture limitrofe sono state monitorate in continuo mediante il controllo di una rete di punti di misura.

- **Repair of cracks** in the historical wall through grouting and plastering with cut-and-plug technique, by mostly working from the service road on the side of the Arno river.

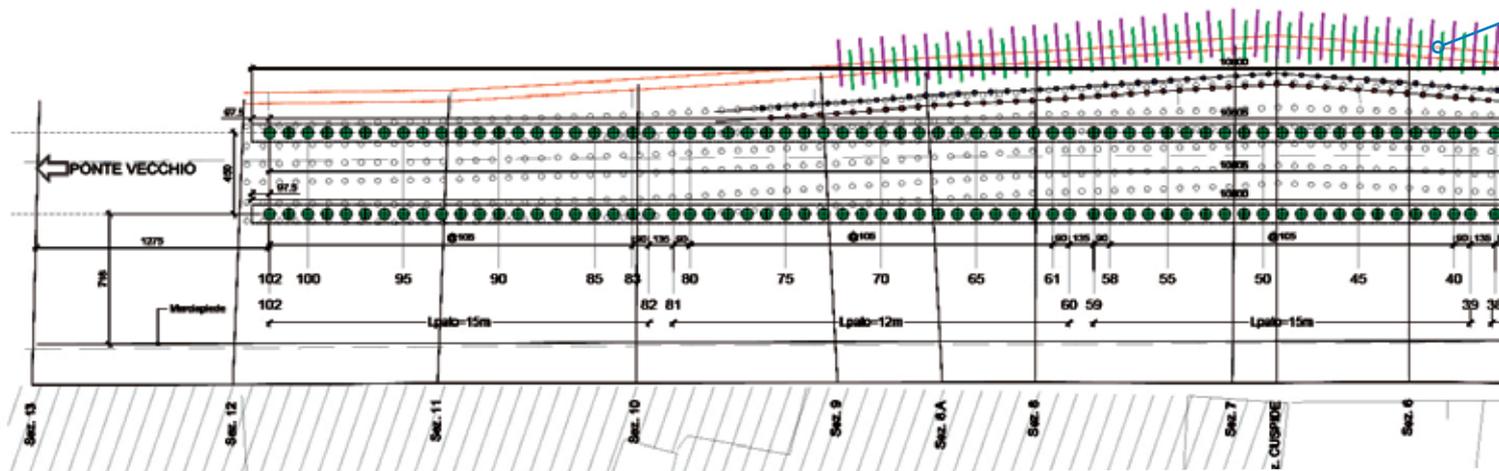
Soilmec rigs were used during the operating phases. These rigs are manufactured by Soilmec, the Trevi Group's company that designs and manufactures equipment for special foundation works.

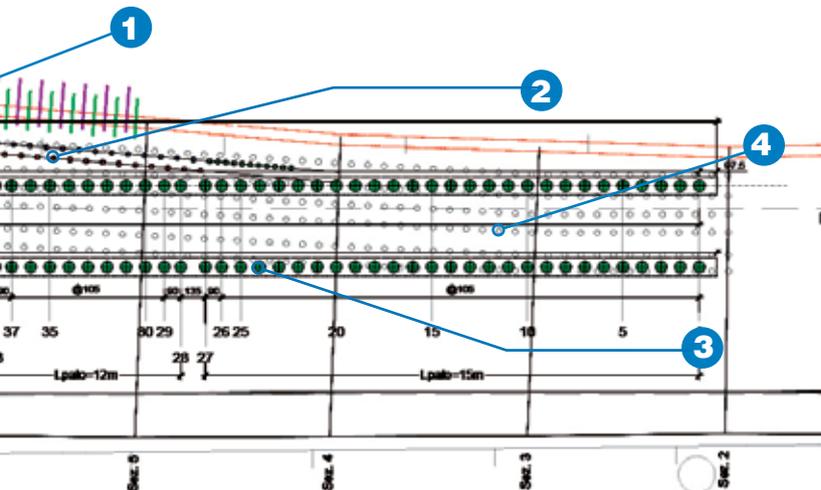
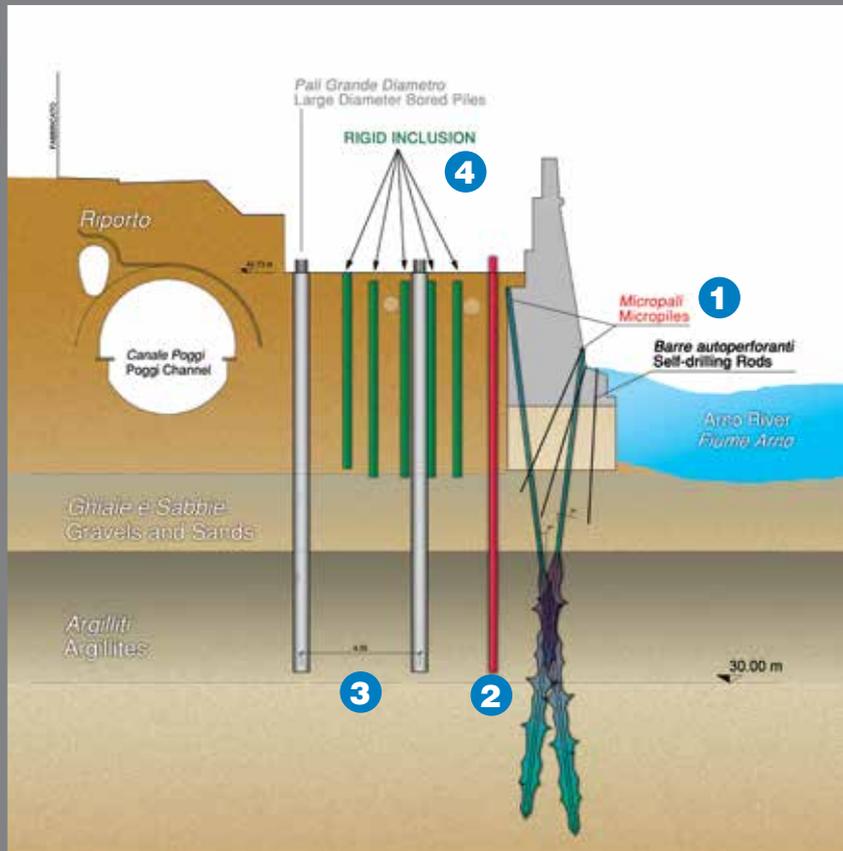
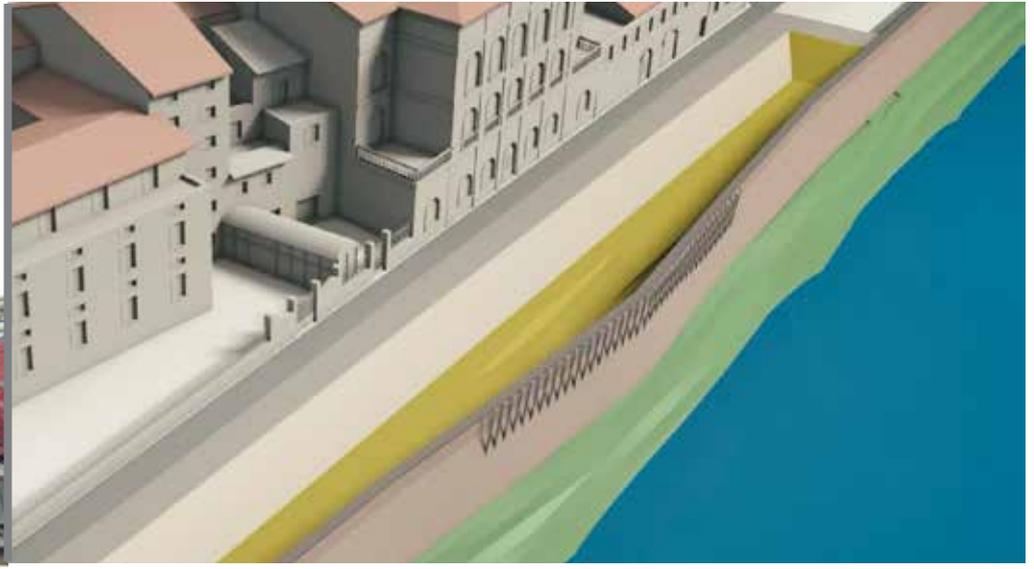
During all the jobsite activities a real time monitoring system controlled the dislodged wall and the nearby structures and buildings.





PIANTA / PLAN





LEGENDA / LEGEND

- 1** Micropali Inclinati
Raked Micropiles
- 2** Micropali di fondazione
Foundation Micropiles
- 3** Pali in Elica Continua (CFA)
Continuous Flight Auger
- 4** Rigid Inclusion
Rigid Inclusion

La tecnica “Rigid Inclusion”

In generale per “inclusioni” si intende un tipo di consolidamento che fornisce un miglioramento della resistenza di un ammasso di terreno per mezzo dell’inserimento di elementi costituiti da un materiale avente caratteristiche migliori di quelle del terreno naturale circostante in modo da migliorare globalmente le caratteristiche meccaniche dell’ammasso trattato.

Le inclusioni sono considerate “Rigide” quando il materiale introdotto nel terreno è dotato di significative e permanenti proprietà coesive (*calcestruzzo o malta cementizia*) ed ha una rigidità sensibilmente maggiore ($500 \div 5.000$ volte) di

“Rigid Inclusion” technique

“Rigid Inclusions” is a ground improvement technique that uses elements made of a material having better properties than the surrounding natural soil, so as to improve the overall mechanical properties of treated soil.

Inclusions are “rigid” when the material introduced into the ground has important permanent cohesive properties (cement or cement grout) and considerably higher stiffness ($500 \div 5,000$ times) than natural soil around it.

Medium to small diameter-elements (300 to 800 mm) with low treatment percentage (2% to 10% of soil volume) are



quella del terreno naturale circostante.

In genere si utilizzano diametri medio-piccoli (*da 300 a 800 mm*) con percentuali di trattamento basse (*dal 2% al 10% del volume di terreno*), garantendo nel contempo la qualità e la ripetitività del prodotto ottenuto, sia in termini di diametri che di modulo elastico.

Dal punto di vista esecutivo le “Rigid Inclusion” possono essere realizzate utilizzando le tecnologie del palo a spiazzamento (*Discrepile*) o quella del palo in elica continua (*CFA*).

Nel caso dell’intervento sul Lungarno Torrigiani il volume di terreno interessato dal trattamento di consolidamento era quello in corrispondenza dello strato di terreno di riporto, smosso e dislocato dall’evento di dissesto, localizzato fra l’attuale piano campagna post evento ed una profondità di circa 7-8 m dal piano stradale originale. Dovendo operare

generally used, ensuring high quality and consistency of obtained product both in terms of diameter and deformation modulus.

“Rigid inclusions” can be realised using displacement (Discrepile) or Continuous Flight Auger (CFA) piling techniques.

The soil volume to be consolidated in the Lungarno Torrigiani intervention was the backfill layer dislodged and displaced by structural collapse, located between current post-incident ground level and a depth of 7-8 m from original street level. Due to poor properties of backfill soil, the “rigid inclusion” columns were realised using small drilling rigs (micropiles) of a weight lower than 20-25 t.

The 7.5 m long columns, with a diameter of 300 mm, were

su un terreno rimaneggiato aventi caratteristiche scadenti, le colonne "Rigid Inclusion" sono state realizzate con attrezzature tipiche da piccola perforazione (*micropali*), aventi un peso inferiore alle 20 - 25 ton.

Le colonne, di diametro 300 mm e lunghezza di 7,5 m, sono state realizzate pompando una malta premiscelata con classe di resistenza C30. La maglia di progetto del trattamento, che teneva in considerazione la presenza dei sottoservizi, era pressoché rettangolare con interasse di 1,0 x 0,90 m, con una percentuale di trattamento pari a circa l'8% del volume interessato.

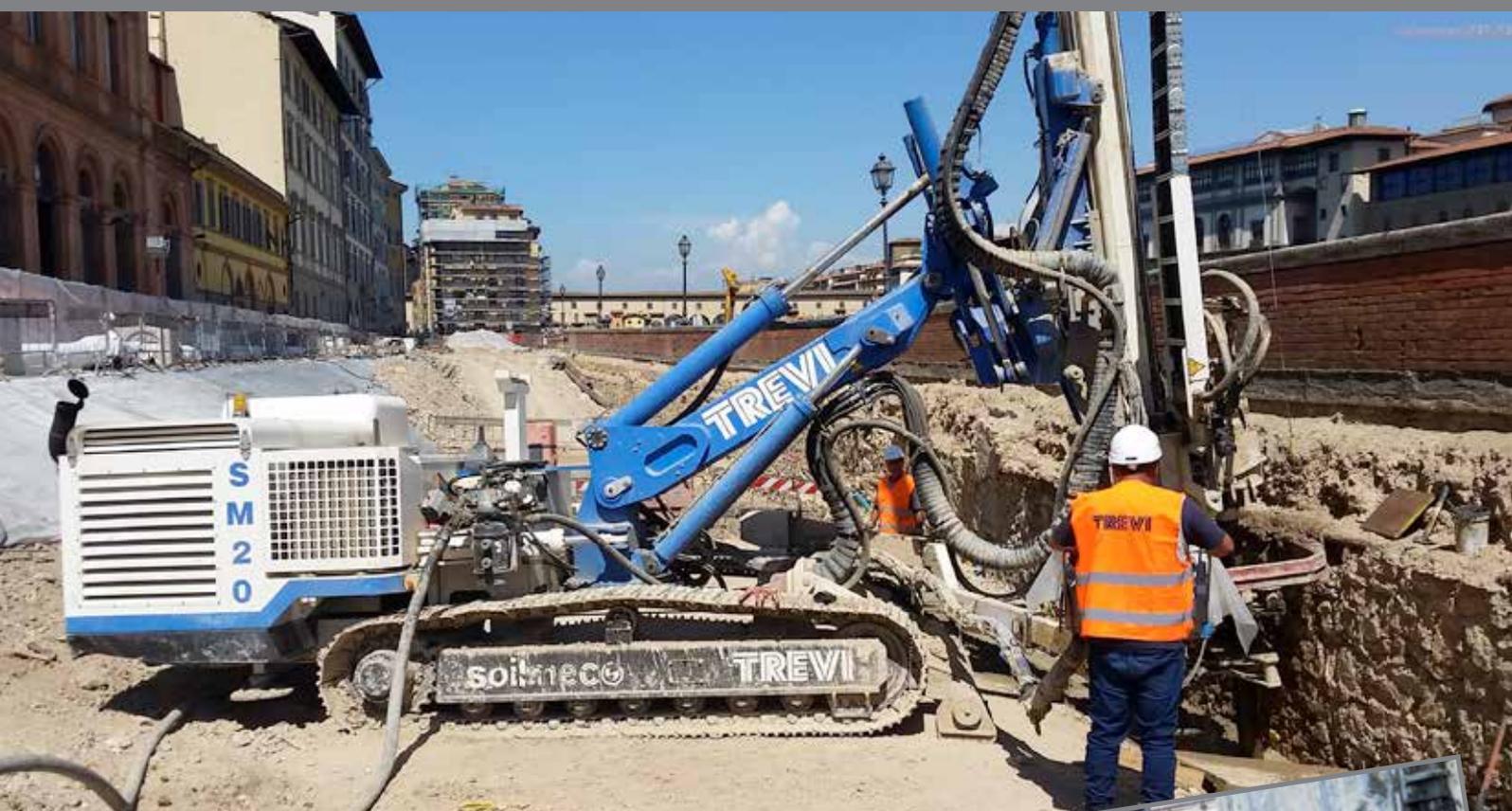
Dovendo minimizzare disturbi e risentimenti sulle strutture limitrofe e ottimizzare la logistica di cantiere in considerazione

poured with a grade C30 premixed mortar.

The treatment grid takes into account the presence of underground structures and was almost rectangular with 1.0 x 0.90 m centre-to-centre distance. It corresponds to a treatment percentage of about 8% of the volume.

To minimise the impact on nearby structures, the "rigid inclusions" were performed using the Trelicon technology which allows "dry" drilling with no vibrations, thus avoid any water or excavation muds which may loosen or further affect the soil.

Columns were filled with cement grout while extracting the drilling rods in order to avoid decompression and keep the borehole walls always stable.



dei ridotti spazi di cantiere, le "Rigid Inclusion" sono state eseguite utilizzando la tecnologia Trelicon (*elica continua*), un sistema che consente di perforare a rotazione, senza vibrazioni ed "a secco", evitando quindi l'utilizzo di acqua o fanghi di scavo che avrebbero potuto allentare o disturbare ulteriormente il terreno in posto.

Il riempimento delle colonne con la malta cementizia è stato eseguito durante la fase di estrazione della batteria di perforazione, in modo da evitare fenomeni di decompressione e mantenere sempre stabili le pareti dei fori.

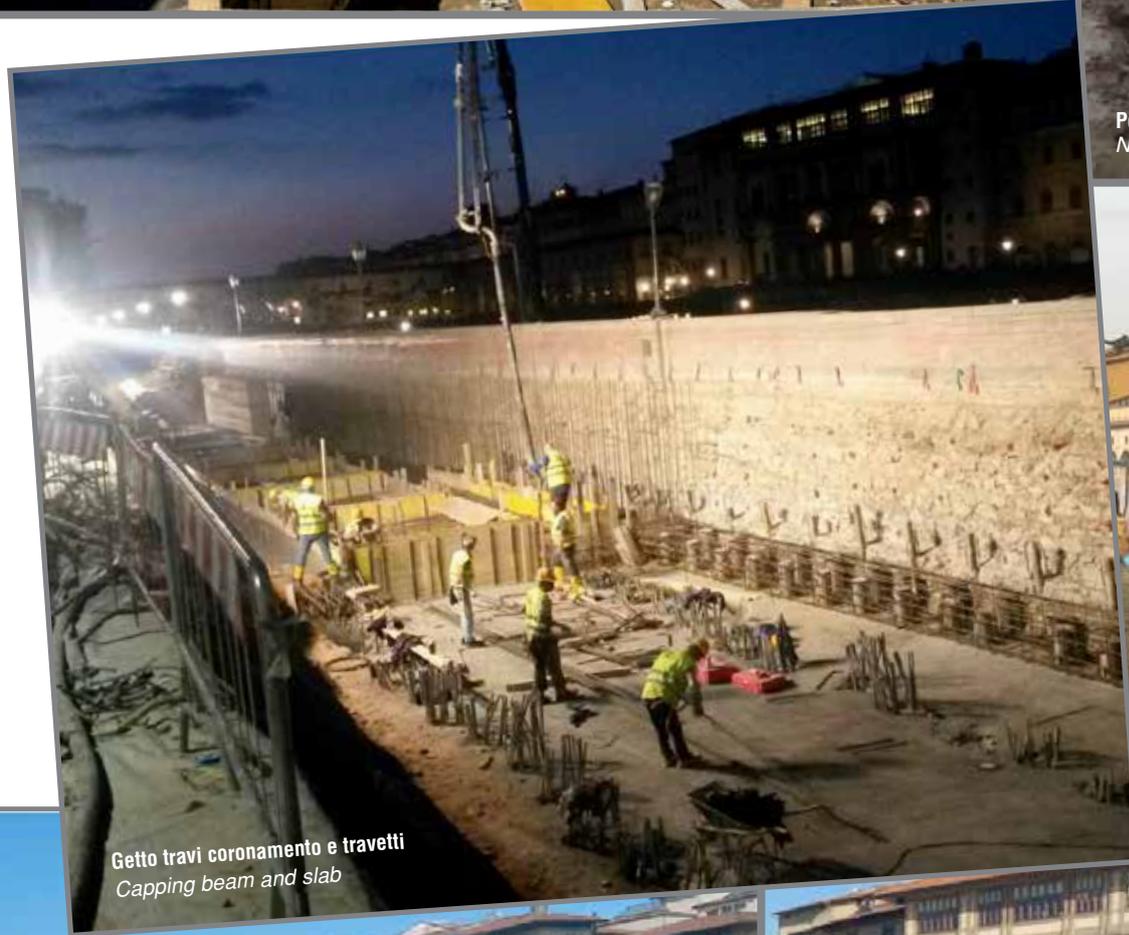




Armatura velette di rinforzo
Retaining wall



Posa nuova condotta
New sewer installation



Getto travi coronamento e travetti
Capping beam and slab



Reintegro e compattazione
Earth movement



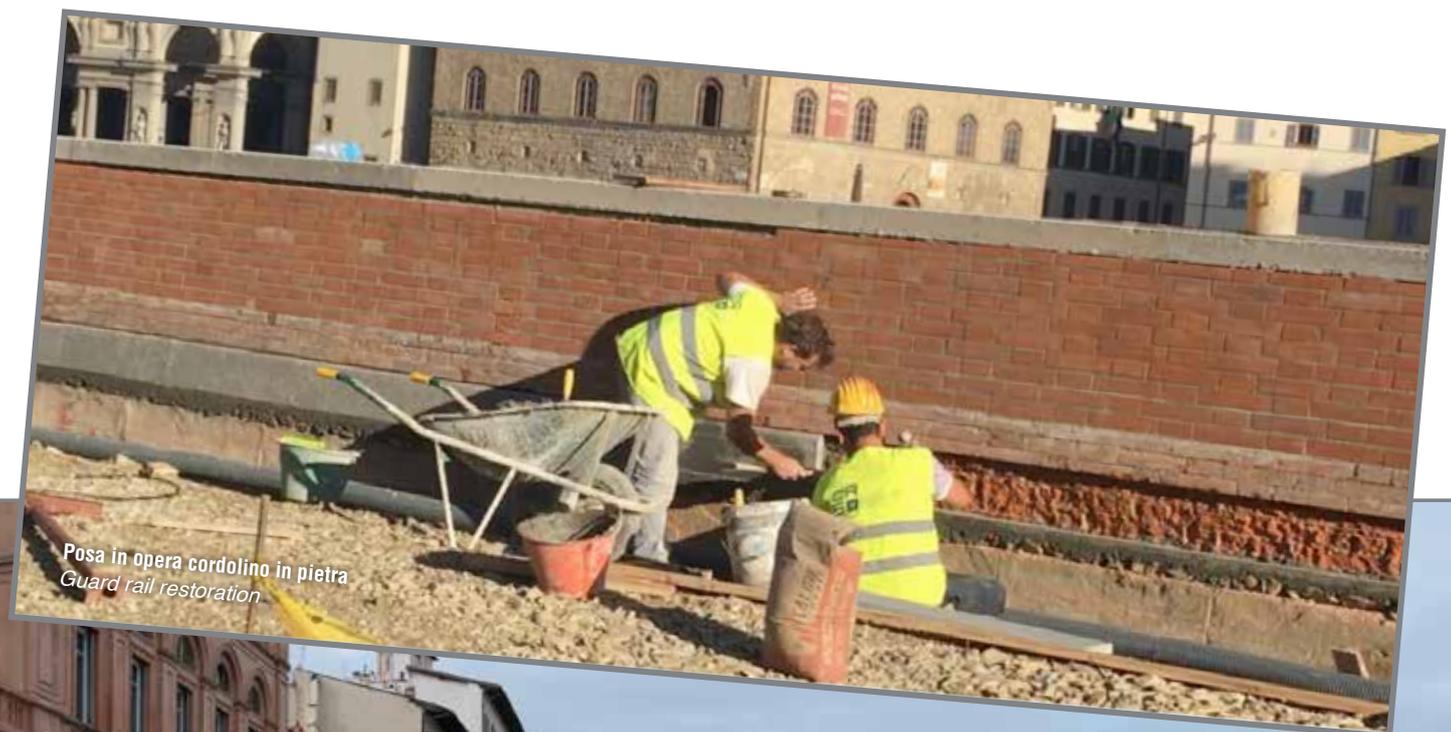
Completamento veletta
Retainig wall



Ripristino della cimasa di coronamento
Guard rail restoration

Tabella riassuntiva lavori effettuati / *Performed works*

OPERE DI FONDAZIONE / FOUNDATIONS WORK	(N°)	(ml)
Rigid Inclusion (ø 300 mm - L=7.5 m)	764	5730
Micropali inclinati sottofondazione muro / <i>Raked micropiles</i> (ø 140 mm - L=18-23 m)	74	1517
Barre autop perforanti / <i>Hallow steel bars</i> (ø 60 mm, L=6 m)	269	1614
Pali Elica Continua (CFA) / <i>Continuous Flight Augers Piles</i> (ø 600 mm - L=12-15 m)	204	3060
Micropali di fondazione / <i>Foundations Micropiles</i> (ø 300 mm - L=16.5 m)	127	2096
Risarciture delle lesioni del muro storico per mezzo di iniezioni e stuccature / <i>Cracks repairing</i>		132
OPERE CIVILI / CIVIL WORKS		
Travi in c.a. di coronamento dei pali/micropali , <i>Concrete capping beams & retaining wall</i> muro verticale di sostegno e di contenimento del terreno		53040 kg ferro / <i>iron</i> 650 m³ calcestruzzo / <i>concrete</i>
Posa in opera nuova condotta idrica / <i>New hydraulic sewer</i> ø 800 mm		280 ml
Posa in opera nuova condotta idrica / <i>New hydraulic sewer</i> ø 150 mm		280 ml
Movimento terra (scavi e reinterri) / <i>Earth movement</i>		6000 m³
RIPRISTINO PIANO STRADALE / TRAFFIC ROAD RESTORATION		
Marciapiede / <i>Sidewalk</i>		500 m²
Asfaltatura / <i>Asphalting</i>		3300 m²
Parapetto / <i>Guard Rail</i>		120 ml



Completamento asfaltatura e segnaletica
Traffic road restoration



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



TREVII S.p.A.
 Divisione RODIO