

worldwide leader in the foundation engineering field



REFERENZA TECNICA - TECHNICAL REFERENCE



**Messa in sicurezza campanile**  
**San Marco**  
**Consolidation of**  
**St. Mark's Basilica bell tower**

Venezia, Italy

**Consolidamenti profondi**  
**Deep Mixing**



Cliente :  
Owner :

Ministry of Infrastructure and Transport  
Venice Water Authority

Contrattista principale :  
Main Contractor :

CONSORZIO VENEZIA NUOVA

Durata dei lavori :  
Duration of works:

2011

## Introduzione

La costruzione del campanile di Piazza San Marco a Venezia risale al XII secolo. Il 14 luglio 1902, a causa di un cedimento della struttura, il monumento crolla.

In una decina d'anni (1903-1912) viene ricostruito "com'era e dov'era"; in realtà il progetto di ricostruzione, affidato a Luca Beltrami, con la collaborazione di Gaetano Moretti, introduce tre importanti modifiche: si usano mattoni nuovi, il campanile viene rastremato per renderlo più snello e la cella campanaria è realizzata in cemento armato.

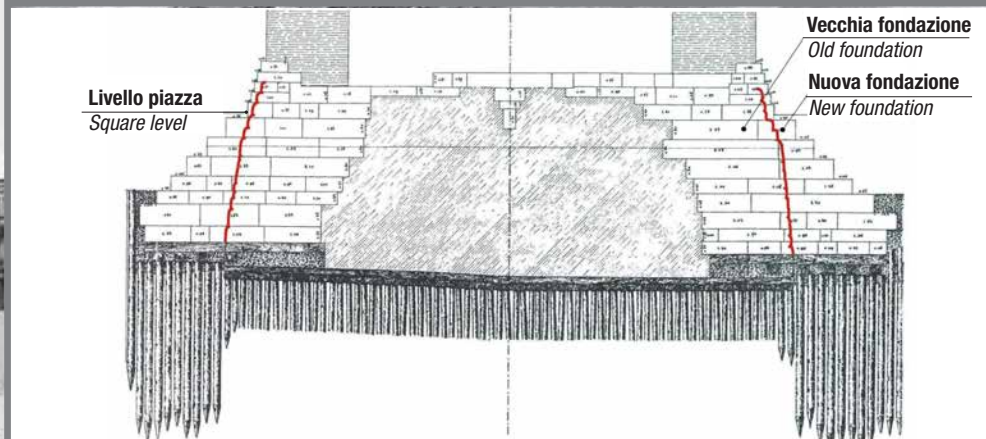
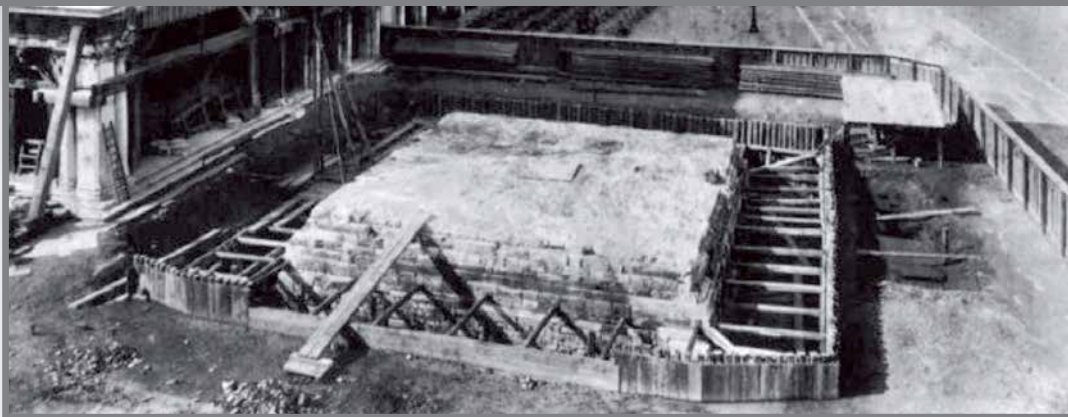
Per quanto riguarda le fondazioni, si conserva il blocco murario preesistente, in massi di pietra d'Istria e di trachite, ma ne viene quasi raddoppiata la base, portata a 410 metri quadrati rispetto ai 222 precedenti, battendo 3.076 nuovi pali di rovere, lunghi

## Introduction

The bell tower in St. Mark's Square, Venice, was originally constructed in the 12th century. It collapsed on 14 July 1902 because the structure gave way.

Over the next decade (1903-1912) the tower was rebuilt, supposedly "as it was and where it was." Actually, however, the reconstruction, directed by Luca Beltrami with the collaboration of Gaetano Moretti, made three important changes: new bricks were used, the tower was tapered to make it more streamlined, and the belfry was made of reinforced concrete.

As for the foundations, the pre-existing masonry block was retained, of Istria stone blocks and trachyte, but the base was nearly doubled in size, from 222 to 410 square metres, driving in 3,076 new oak piles 4 metres long and 20 centimetres in diameter,



circa 4 m e dal diametro di circa 20 cm, rinforzati da una colata di cemento e pietrisco, per diminuire notevolmente la pressione media sul terreno. Tuttavia questa "armatura" aggiunta non riesce a garantire la stabilità ottimale della torre e la ripartizione uniforme dei carichi al suolo, tanto che negli anni sono stati registrati cedimenti delle fondazioni, manifestati in piccole fessure.

Nel tempo infatti il campanile ha fatto emergere numerose problematiche strutturali, quali:

- l'erosione dei pali di legno delle fondazioni a causa dell'acqua salmastra;
- il danneggiamento della struttura architettonica legato all'innalzamento del livello del mare e alle inondazioni;
- numerose fratture evidenti sui gradoni in trachite del basamento, anche sotto il livello della Piazza (presenti fin dal 1914), allarmante segno di rottura per flessione e taglio dovuta a un diverso abbassamento della vecchia e della nuova fondazione.

reinforced by cement and crushed rock, and thus substantially reducing the average pressure on the ground. Nevertheless, this additional reinforcement did not result in optimal stability of the tower or an even distribution of the load on the ground, so that over the years there was subsidence of the foundations, perceptible in the form of small cracks.

With time, in fact, the bell tower displayed a number of structural problems, notably:

- erosion of the wood foundation piles owing to the brackish water;
- damage to the architectonic structure caused by rising sea levels and flooding;
- numerous cracks in the trachyte steps, including below the level of the square (observed as early as 1914), an alarming sign of breakage through bending and cracking due to the uneven downward movement of the old and new foundations.

## Cedimenti registrati a partire dagli anni Cinquanta

A partire dalla seconda metà del '900 il campanile viene sottoposto a controlli e perizie sistematiche e regolari. Queste analisi sono state eseguite nell'ambito della progettazione degli interventi per accertare con precisione l'entità dei processi di assestamento, valutare le caratteristiche delle strutture interessate e il loro stato di conservazione, acquisire dati e informazioni necessaria a mettere a punto le specifiche modalità operative.

Le attività svolte possono essere suddivise nelle seguenti categorie: analisi storica, indagini interne, indagini esterne.

### Analisi storica:

- ricerche archivistiche e documentali.

### Indagini interne:

- rilievo pavimentazione loggetta;

## Subsidence since the 1950s

Starting from the second half of the twentieth century the bell tower has been steadily monitored with regular, systematic inspections. These inspections form part of a plan of intervention to ascertain the real extent of the subsidence, assess the characteristics of the component structures affected and their state of conservation, and gather the data and information necessary to perfect methods of operation.

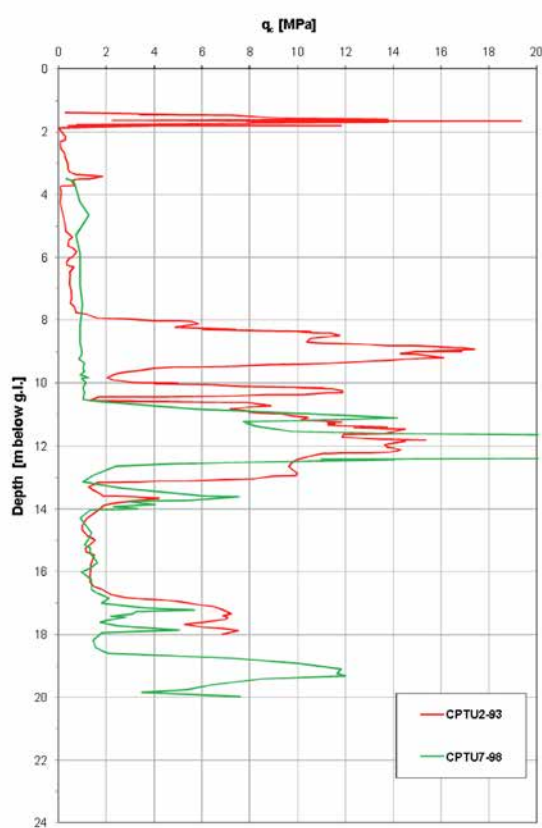
The activities can be divided into three categories: historical analysis, internal investigation, external investigation.

### Historical analysis:

- archival and documentary research.

### Internal investigation:

- observation of the floor of the loggia;



- carotaggi e prove penetrometriche-statiche;
- monitoraggio piezometrico;
- scavi loggetta;
- livellazione di precisione.

### Indagini esterne:

- prove penetrometriche;
- rilievo fotografico;
- trincee.

Le misure e i rilievi eseguiti, le analisi effettuate, i monitoraggi predisposti hanno evidenziato un cedimento differenziale di 60 cm del masso di fondazione, mentre le verifiche sulla verticalità della struttura hanno rilevato un "fuori piombo" del campanile di circa 7 cm sull'intera altezza, una pendenza impercettibile se rapportata ai quasi 100 m del campanile.

Quello che preoccupava erano le fondazioni: l'abbassamento differenziale, causato dalla scarsa resistenza dello strato argilloso del terreno a contatto con la fondazione, ha rischiato di compromettere seriamente anche la basilica, come testimoniano

- coring and static penetration tests;
- piezometric monitoring;
- excavation of the loggia;
- precision levelling.

### External investigation:

- penetration tests;
- photographic examination;
- trenches.

The measurements and observations, analyses, and monitoring operations revealed a differential subsidence of 60 centimetres of the foundation block, while inspection of the tower structure found it was "out of plumb" by just 7 centimetres, a practically imperceptible lean given its height of nearly 100 metres.

The worrisome point was the foundation: the differential subsidence, due to the poor resilience of the layer of clay on which the foundation rested, threatened serious damage to the Basilica as well, as was shown by cracks of more than 1 centimeter found on the ceiling of the Chapel of St. Peter

le fratture di oltre un centimetro rilevate sulla volta della cappella di San Pietro che affianca il campanile.

**Nel 1993 ha inizio un'indagine diagnostica** in cui viene effettuata una serie di verifiche strutturali, installando un sistema di monitoraggio on-line e vengono riprese le misure manuali di ampiezza delle fessure profonde, interrotte dal 1975.

**Da qui si estrapola, sia sperimentalmente che dalle analisi numeriche, una sfavorevole concentrazione delle tensioni verticali di compressione ai quattro spigoli della sezione trasversale**, e si verificano la solidità della fondazione e l'efficienza del collegamento tra la vecchia e la nuova.

La differenza nello stato di sollecitazione in sezione trasversale orizzontale è principalmente dovuta alla deformabilità della base relativamente alla grande rigidità della sezione scatolare della canna.

*flanking the bell tower.*

**A diagnostic inquiry was initiated in 1993**, involving a series of structural checks with the installation of an on-line monitoring system and the resumption of manual measurement of the breadth of the deep cracks, which had been suspended in 1975.

**The implication, both experimental and via numerical analysis, was an undesirable concentration of the vertical compression strains on the four corners of the cross section**; the soundness of the foundation was confirmed, as was the efficiency of the link between old and new foundations.

*The difference in the strain on the horizontal cross section was due mainly to the deformability of the base by comparison with the great rigidity of the box section of the shaft. This pattern was very significant, warranting the closest possible attention,*



Tale fenomeno è risultato molto rilevante e degno della massima attenzione poiché, non essendoci ragionevoli margini di sicurezza nei riguardi di questi fenomeni (*lenti ma continui*), si poteva aggravare notevolmente la deformabilità della base.

Infatti la ripresa delle misure estensimetriche, condotte dal 1955, ha confermato che l'ampiezza delle fessure, invece di stabilizzarsi, è cresciuta quasi linearmente nei successivi 44 anni, segno che **il fenomeno di assestamento della fondazione proseguiva senza attenuarsi, potendosi aggravare ulteriormente in futuro.**

## Geologia

Inoltre tramite l'impiego di prove penetrometriche statiche è stata ottenuta la stratigrafia del sottosuolo:

- **limi sabbiosi-argillosi** dal livello della pavimentazione della piazza (0,90 m slm) a 5 m di profondità (*localmente sabbia da media a fine con limo*); presenza di resti di muratura, blocchi di

*in that as there was no reasonable margin of security vis-à-vis this slow but steady process, the deformability of the base could worsen substantially.*

*And the resumption of the manual measurements, first made in 1955, confirmed that rather than stabilizing the cracks had widened in practically linear fashion for 44 years, an indication that **the subsidence of the foundation was continuing, unattenuated, and could be further exacerbated in the future.***

## Geology

*A series of static penetration tests gave a precise account of the stratigraphy of the subsoil:*

- **sandy-clay silt** from the square pavement level (0.90 metres above sea level) to 5 metres depth (*locally sand from medium-to fine-grained, with silt*); remains of masonry, trachyte blocks

trachite e pali in legno;

- da 6 a 7 m **limo sabbioso-argilloso e/o argilla limosa** con residui organici e torba: qc nell'intervallo 1 ÷ 3 MPa;
- fino a 10 m **sabbia da media a fine**: qc nell'intervallo 7 ÷ 15 MPa;
- oltre 10 m di profondità si alternano strati di **argilla limosa, limo argilloso e sabbia limosa**.

L'indagine all'esterno del campanile ha consentito di acquisire informazioni necessarie per la progettazione delle opere e per la definizione delle modalità esecutive. Le attività hanno compreso, tra l'altro, indagini planoaltimetriche delle gradonate del masso di fondazione, rilievi dei sottoservizi e dei condotti fognari.

Sono state anche effettuate le opportune verifiche per individuare eventuali preesistenze archeologiche, con il coor-

and oak piles;

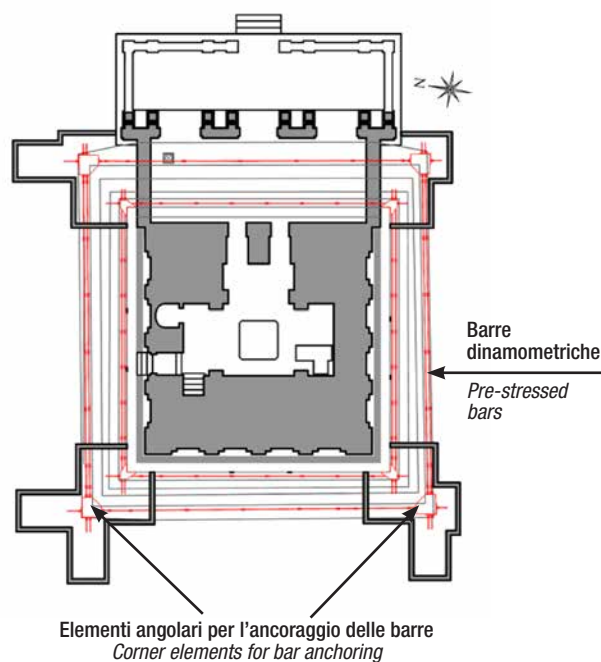
- at depths of 6-7 metres, **sandy-clay silt and/or silty clay** with organic residues and peat with qc in the interval 1-3 MPa;
- at depths up to 10 metres, **medium- to fine-grained sand** with qc in the interval 7-15 MPa;
- at depths below 10 metres, alternation of **silty clay, clayey silt and silty sand**.

The external investigation produced the information needed to plan the works and determine execution methods. Activities included plane-altimeter investigation of the levels of the foundation block, observations of subservices and sewers.

Tests were also conducted to identify any pre-existing archaeological structures, with the scientific coordination of



**Planimetria della disposizione delle barre dinamometriche in titanio sul marmo di fondazione**  
Layout of the titanium bars on the foundation marble



dinamento scientifico della Soprintendenza Archeologica del Veneto-Nausicaa.

## L'intervento Trevi

Il consolidamento delle fondazioni (realizzato dalla Sacaim, impresa del Consorzio Venezia Nuova, che ha subappaltato le opere speciali di ingegneria del suolo a Trevi Spa, i cui tecnici hanno collaborato fin dall'inizio con progettisti e consulenti per la messa a punto del progetto) prevede innanzitutto l'utilizzo di una tecnica innovativa, basata sull'iniezione di miscela cementizia additiva mediante microfratturazione per consolidare il terreno che circonda la fondazione.

In seguito alla fase di consolidamento, sono stati eseguiti agli angoli del campanile quattro pozzetti attraverso i quali è stata posizionata una vera e propria "cintura" (cerchiatura) di titanio necessaria a bloccare i cedimenti del campanile, mediante un doppio sistema di catene dinamometriche (ciascuna costituita da due barre di titanio), poste a venti centimetri l'una dall'altra.

the office of the superintendent for archaeology of the Veneto Region (Nausicaa).

## Trevi intervention

The foundation was consolidated by Sacaim, a member of Consorzio Venezia Nuova, which subcontracted the special soil engineering work to Trevi S.p.A.

From the start Trevi's technicians worked together with project designers and consultants to finalize the project. The consolidation of the foundation required an innovative technique, the injection of an additive cement mix via microfracturing to strengthen the soil that surrounds the foundation.

After the consolidation phase, four sumps were installed at the four corners of the bell tower, by means of which a true "belt" of titanium, necessary to prevent subsidence of the tower, was put in place, with a dual set of pre-stressed chains (each consisting of two titanium bars), 20 cm apart.





Le barre in titanio assicurano ottime caratteristiche meccaniche, il minimo disturbo al terreno di fondazione e la massima durabilità in rapporto all'ambiente altamente corrosivo in cui si opera, soprattutto per la presenza di acqua salmastra.

### Un doppio sistema di catene dinamometriche

La scelta di adottare una doppia cerchiatura in titanio nasce a seguito di una serie di studi attentamente analizzati dalla Soprintendenza ai Beni Architettonici e Paesaggistici di Venezia.

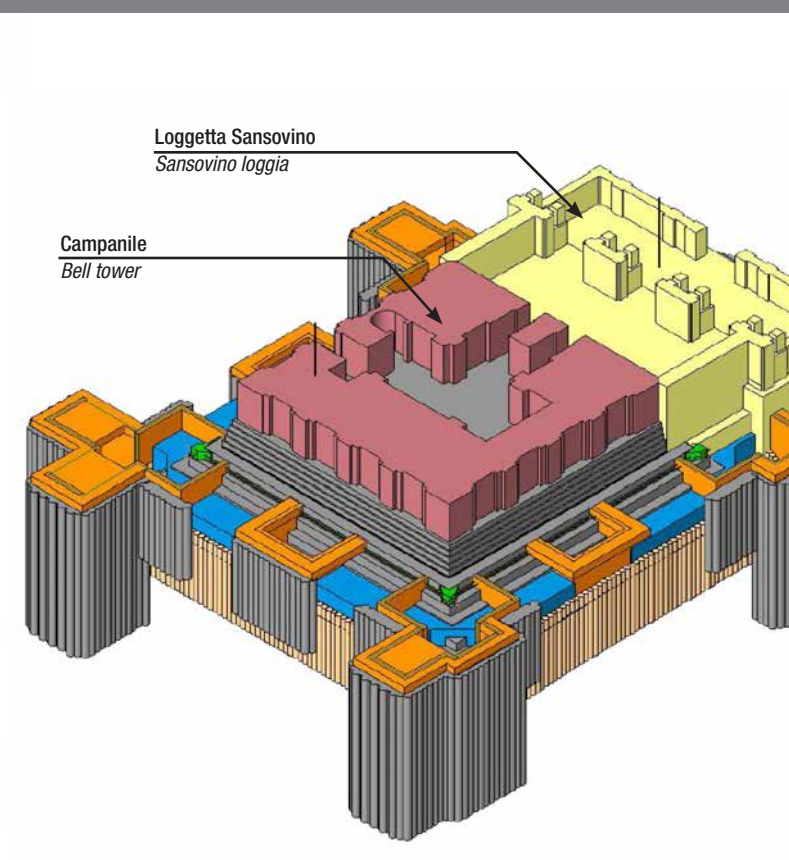
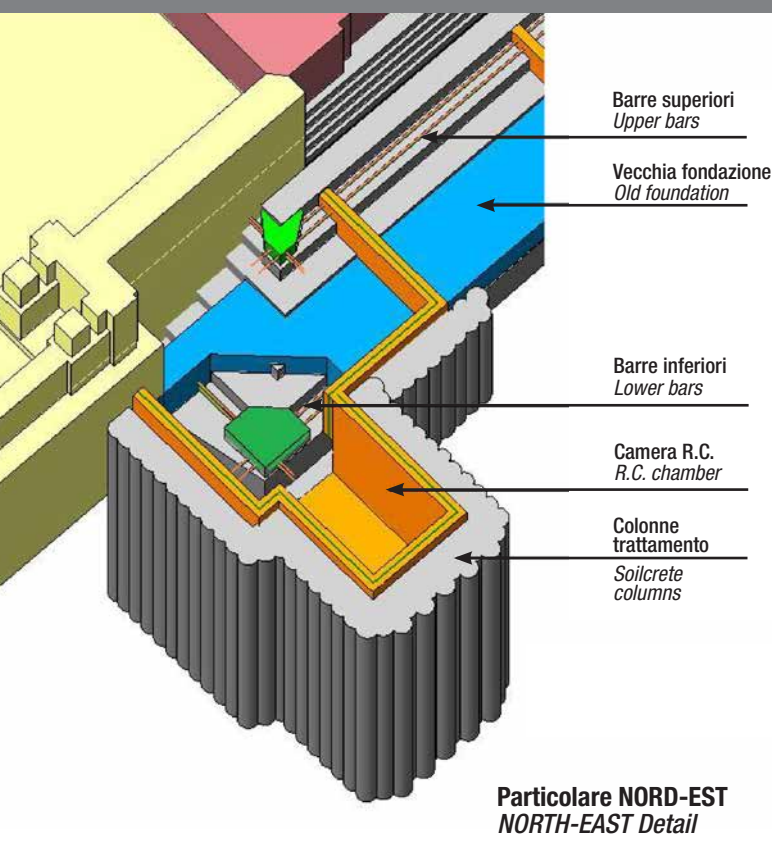
In particolare, i criteri che hanno ispirato l'intervento sono: limitazione al minimo dell'intervento, totale rispetto dell'integrità anche materica del monumento, gradualità e monitoraggio degli effetti, non invasività, durabilità, reversibilità e sostituibilità, minimo disturbo al terreno di fondazione.

The titanium bars have excellent mechanical properties, the least possible disturbance of the foundation soil, and maximum durability in the highly corrosive environment in which they are placed, owing above all to the brackish water.

### A dual set of pre-stressed chains

The double titanium circling technique was selected following a series of careful studies by the Venice superintendent for the architectural and landscape heritage.

The principles governing the intervention were: minimal possible impact of the intervention; absolute conservation of the integrity of the monument, including its materials; gradualness and monitoring of the effects; non-invasiveness; durability; reversibility and substitutability; and minimum possible disturbance to the foundation soil.



- **Limitazione al minimo dell'intervento** necessario per arrestare il progredire del fenomeno, senza tentare di equilibrare gli enormi sforzi di trazione esistenti nel masso di fondazione: i calcoli FEM sul blocco fessurato mostrano che lo sforzo previsto nelle barre dovrebbe essere sufficiente a provocare una modesta parziale richiusura.

- **Totale rispetto dell'integrità** anche materica del monumento, comprese le sue parti non visibili: ottenuta applicando esternamente due ordini di barre sui quattro lati del masso di fondazione.

- **Gradualità e monitoraggio degli effetti:** applicando il concetto di "barre dinamometriche", vale a dire applicare attraverso le barre pretese (250 kN/barra) una modesta precompressione del masso, misurarne l'effetto sulle fessure esistenti nel masso stesso, seguire nel tempo il comportamento delle fessure e la tensione nelle barre per verificare se la precompressione applicata è sufficiente ad arrestare il processo di apertura e se la tensione cresce.

- **Limiting the intervention to the minimum** necessary to stop further deterioration, without attempting to balance the enormous traction forces that are at work on the bearing foundation layer: FEM calculations on the cracked block showed that the expected strain on the bars should be sufficient to bring about some modest narrowing of the cracks.

- **Complete conservation** of the materials of the monument, including non-visible parts: obtained by external application of two orders of bars on the four sides of the bearing foundation layer.

- **Gradualness and monitoring of the effects:** by means of the concept of "dynamometric bars," i.e. to apply, through pre-stressed bars (250 kN/bar) a modest precompression of the foundation layer, measure its effect on the cracks, monitor the behavior of the cracks over time and the strain within the bars to determine whether the precompression is enough to stop further widening and whether the pressure increases.



- **Non invasività:** l'intervento prevede lo scavo di una piccola trincea sotto la torre campanaria dove è stata interrata la "gabbia" di titanio, una struttura invisibile collocata a due diverse profondità, rispettivamente a 3,5 m e 1,5 m sotto la superficie della piazza; in entrambi i casi è impiegata una coppia di barre al titanio distanti l'una dall'altra 20 cm contenute in un involucro di polietilene ad alta intensità con diametro di 40 cm.

- **Durabilità:** adottando i materiali (*titanio*) sperimentati e conosciuti che danno le massime garanzie di minima corrosione nelle sfavorevoli condizioni ambientali (*immersione in acqua salmastra ed escursione del livello lagunare*).

- **Reversibilità e sostituibilità:** sono assicurate dalla collocazione delle barre esterne al masso, entro tubi di protezione, e dalla posizione che ne consente smontaggio e rimontaggio senza scavi sui lati della fondazione.

- **Non-invasiveness:** the project called for digging a small trench under the bell tower where the titanium "cage" is placed, an invisible structure at two different depths, 3.5 and 1.5 metres below the pavement of St. Mark's Square; in both cases two titanium bars 20 cm apart were used, in a high-intensity polyethylene container 40 cm in diameter.

- **Durability:** use of a material (titanium) that has been tested and is known to be the most highly resistant to corrosion in hostile environmental conditions (brackish water and changing lagoon water levels).

- **Reversibility and substitutability:** achieved by placing the bars outside the foundation layer, inside protective pipes, and thanks to their positioning, which allows for dismantling and remounting them without any excavation at the sides of the foundation.



- **Minimo disturbo al terreno di fondazione:** applicando i blocchi di ancoraggio delle barre sugli spigoli del masso e montando le barre a partire da trincee che non intaccano il terreno che ricopre il masso di fondazione. Nello specifico, ogni singola barra, di diametro 60 mm, è formata da pezzi lunghi dai 2 ai 3 m ed è ancorata a blocchi in pietra opportunamente sagomati, che a loro volta contrastano sulle strutture di fondazione. Questa soluzione, in grado di distribuire meglio i carichi sulle fondazioni senza peraltro essere eccessivamente invasiva, è analoga a quella già realizzata con successo per la facciata della basilica di San Pietro a Roma, e presenta anche il vantaggio di permettere l'accesso dei turisti alla torre durante le varie fasi costruttive.

### Camerette

La posa delle barre, dei blocchi di contrasto e la manutenzione, sono possibili perché il progetto prevede la realizzazione di una serie di "camerette" che si spingono fino a quasi 4 metri al di sotto della pavimentazione della piazza: quattro in corrispondenza

- **Minimum disturbance to the foundation soil:** by fixing the anchor blocks of the bars to the corners of the foundation layer and mounting the bars from trenches that do not touch the soil covering the foundation block. The individual bars, 60 mm in diameter, are formed by pieces between 2 and 3 m long and are anchored to specially shaped blocks of stone, which in turn act as a counterweight on the foundation structure. This solution, which distributes the load on the foundation more evenly but is not excessively invasive, is analogous to the technique used successfully for the façade of St. Peter's Basilica in Rome; and it has the additional advantage of allowing tourist visitors access to the tower during the various stages of the construction project.

### Chambers

The placement of the bars and the reaction blocks and their maintenance are possible, because the project calls for the creation of a series of small "chambers" that reach to almost 4 metres below the pavement of the Square: four chambers

degli spigoli del campanile e tre intermedie. Le camerette hanno pareti verticali e sono caratterizzate da una geometria particolarmente “contorta”.

### Consolidamenti con wet soil mixing

Per eseguire in sicurezza questi scavi, in presenza di un battente idraulico di quasi 4 m, ed evitare nel contempo scarpate invasive e aggotamenti di falda prolungati e consistenti (*con il rischio di cedimenti non ammissibili delle fondazioni*), è stata adottata una tecnica in grado di conciliare entrambi gli aspetti.

Il consolidamento e l'impermeabilizzazione del terreno costituente le pareti ed il fondo dello scavo sono infatti realizzati con un trattamento colonnare di miscelazione a umido in situ (*wet soil mixing*) con successiva posa sui fianchi di armature costituite da tubi in acciaio. È la prima volta che in Italia viene utilizzata questa

*in correspondence with the corners of the bell tower and three intermediate chambers. The chambers have vertical walls and are of particularly “convoluted” geometry.*

### Ground improvement with wet soil mixing

*To perform the excavations safely, given a hydraulic head of almost 4 metres, and at the same time stabilize slopes and avoid substantial, protracted dewatering of the aquifer (with the risk of unacceptable subsidence of the foundations), a technique reconciling these necessities was adopted. Strengthening and sealing of the soil making up the walls and floor of the excavation, in fact, were achieved by blending the in-situ soil with grout slurry (wet soil mixing technique), and by subsequently placing structural steel elements (steel pipes) on the flanks.*



tecnica innovativa, finora applicata solo nei paesi del Nord Europa, che prevede l'iniezione di miscela cementizia additivata mediante microfratturazione.

Il composto è stato fatto penetrare nel sottosuolo attraverso **92 pali di acciaio, lunghi 12 metri** e inseriti nel terreno per mezzo della perforatrice, i quali, grazie ad un sistema di valvole poste sui pali stessi, hanno permesso l'iniezione di circa 100 m<sup>3</sup> di miscela cementizia nello strato argilloso e sabbioso che si trova sotto le fondazioni della struttura.

La parte più consistente del lavoro, anche in termini di tempo, è stata proprio questa, la realizzazione dei trattamenti colonnari eseguiti con la perforatrice (*una Soilmec SM-21*) da 21 t. Con questa tecnica il consolidamento viene ottenuto tramite un utensile mescolatore che letteralmente disgrega e miscela meccanicamente il terreno apportando nel contempo un legame costituito da acqua e cemento.

La scelta di questa tecnologia “raffinata” è derivata dalla necessità

*This was the first time this innovative technique, which involves the injection of a cementitious binder slurry via microfracturing, was employed in Italy. Up to that time, it had been used only in Northern Europe.*

*The slurry was injected to penetrate the subsoil through **92 steel piles, 12 m long**, driven into the soil by the drill rig. The steel pipes, thanks to the valves mounted on them, allowed the injection of about 100 cubic metres of cement slurry into the clayey and sandy stratum underneath the foundations.*

*This phase accounted for the greater part of the job, including in terms of time, namely the columnar treatment executed using a 21-ton drill rig. By this technique, improvement is achieved by advancing a mixing tool that literally disaggregates and blends the soil mechanically, at the same time injecting a binder consisting of water and cement.*

*The choice of this “refined” technique was dictated by the need to minimize disturbance to the terrain and hence to*

di minimizzare il disturbo del terreno e, di conseguenza, alle fondazioni del campanile e alle inestimabili opere d'arte ad esso adiacenti. L'operazione è stata ripetuta per quattro volte ad una distanza minima di 28 giorni così da garantire il progressivo ed omogeneo solidificarsi della miscela.

**Il risultato è stato la formazione nel terreno di una struttura cementante che ha accresciuto di dieci volte la resistenza delle fondamenta alle sollecitazioni.**

### Lo sbarco in piazza San Marco della perforatrice

Il trasporto della perforatrice fino all'area di lavoro ha comportato uno studio preventivo, che ha peraltro sottolineato l'intrinseca difficoltà di carattere logistico connessa con l'operare in un contesto dove la movimentazione della macchina e materiali ha richiesto precise valutazioni e un'attenta programmazione.

*the foundations of the bell tower and the invaluable artistic treasures adjacent to it. The process was repeated four times at intervals of at least 28 days, ensuring the progressive, uniform curing of the mixed soil.*

***The result was the formation, within the soil, of a cementing structure that increased the foundation's resistance to stress tenfold.***

### Transportation of the drill rig to St. Mark's Square

*Transporting the drill rig to the work area required an advance study, which highlighted the intrinsic logistical problems of operating in a situation in which the movement of the machine and of the materials required precise assessments and careful planning. Arriving at the canal bank with a self-propelled pontoon from the Cavallino Tre Porti pier, the*



Giunta sulla Riva San Marco con un moto-pontone partito dal molo di Cavallino Tre porti, la macchina ha raggiunto l'area del cantiere - distante 160 m - grazie a una speciale pedana a "S", posata tra il punto di sbarco e le colonne di San Marco e San Todaro, e un'altra curva di stretto raggio per entrare in cantiere.

Questa pedana, concepita per ripartire meglio i carichi, è costituita da 15 centimetri di sabbia e uno strato di neoprene, sui quali sono state poggiate travi lamellari e poi delle putrelle.

Per evitare lo spostamento durante la traslazione, le putrelle sono state bloccate lateralmente con profili assicurati alle travi lamellari. Per minimizzare disagi ai numerosi turisti e a tutte le altre attività connesse con l'afflusso di visitatori, l'avanzamento è avvenuto in quattro segmenti da 40 m ciascuno. Dopo ogni avanzamento la pedana è stata smontata e rimontata davanti alla macchina, che, in meno di una settimana, ha così coperto l'intero percorso fino ad arrivare a destinazione.

*machine reached the construction site – 160 metres from the canal – thanks to a special S-shaped platform, laid down between the landing point and the columns of St. Mark and St. Theodore, and another sharp curve to enter the site.*

*This platform, designed for optimum distribution of loads, consisted of 15 centimetres of sand and a layer of neoprene, on which were placed lamellar beams and then I-beams.*

*To prevent shifting during the movement of the machine, the I-beams were fixed laterally with profiles tied to the lamellar beams. To minimize inconvenience to the crowds of tourists and the activities connected with the flow of visitors, the machine advanced by four separate 40m segments. After each segment, the platform was dismantled and then remounted ahead of the machine, and in less than a week the entire distance to destination was covered.*



## Conclusione

Questo intervento è testimonianza della potenza tecnologica moderna che permette soluzioni mirate, leggere, reversibili attraverso l'utilizzo di tiranti in titanio.

**Le prime rilevazioni sullo stato di salute del campanile hanno registrato una sensibile riduzione dell'andamento dei cedimenti della struttura rispetto alle osservazioni storiche, senza che questo abbia inciso negativamente sulla pendenza della torre.**

## Conclusion

*This project testifies to the great potential of modern technology, which allows specifically targeted consolidation that is non-invasive and reversible, thanks to the use of titanium bands.*

*The first assessments of the bell tower's soundness have found an appreciable reduction in the rate of subsidence compared with earlier observations, with no adverse effect on the lean.*



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)



TREVI S.p.A.  
Divisione RODIO