



| 3   |           | Aggiornamento novembre 2015 | 27/11/15 |         |       |
|-----|-----------|-----------------------------|----------|---------|-------|
| 2   |           | Aggiornamento aprile 2015   | 29/04/15 |         |       |
| 1   |           |                             | 24/11/14 |         |       |
| Rev | Nome file | Descrizione                 | Data     | Redatto | Appr. |

REGIONE VENETO

PROVINCIA DI VENEZIA

COMUNE DI PORTOGRUARO

## INTERVENTI URGENTI DI CONSOLIDAMENTO DELLE FONDAZIONI DELLA TORRE CIVICA DI PORTOGRUARO

### PROGETTO DEFINITIVO-ESECUTIVO



#### RELAZIONE GENERALE

N. ELABORATO

**RO1**

DATA NOVEMBRE 2014

SCALA

#### PROGETTISTI

Progettazione generale, geotecnica e delle opere di fondazione

Prof. Ing. Francesco Colleselli

**colleselli & p.**  
INGEGNERIA GEOTECNICA

Via Vigonovese, 115 - 35127 Padova  
Tel 049 8705204-953 - Fax 049 7628139  
e-mail info@colleselligeotecnica.it  
www.colleselligeotecnica.it

Collaborazione progettazione geotecnica e delle opere di fondazione

Ing. Giuseppe Colleselli

Via Vigonovese, 115 - 35127 Padova

Documentazione contabile e amministrativa e sistemazione sottoservizi

Ing. Arturo Busetto

Progettazione delle strutture in elevazione  
Coord. sicurezza in fase di progettazione

Ing. Fabio Urban

**AB&P**  
Engineering s.r.l.

Vicolo Forni Vecchi, n° 1/A Pordenone  
Tel. 0434.208166 Fax 0434.27005  
e-mail info@busettoarturo.it

#### CONSULENTI

UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI TRENTO  
DIPARTIMENTO DI INGEGNERIA  
MECCANICA E STRUTTURALE



Gruppo di lavoro:  
Dr. Daniele Zonta  
Ing. Emiliano Deblasi  
Ing. Marco Molinari  
Ing. Davide Trapani



## SOMMARIO

|            |                                                                                     |           |
|------------|-------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b>   | <b>PREMESSE</b>                                                                     | <b>2</b>  |
| <b>2</b>   | <b>CONSIDERAZIONI SULLE CAUSE DEI CEDIMENTI</b>                                     | <b>5</b>  |
| <b>3</b>   | <b>INTERVENTI IN PROGETTO</b>                                                       | <b>6</b>  |
| <b>3.1</b> | <b>INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLE FONDAZIONI DELLA TORRE</b>                    | <b>8</b>  |
| <b>3.2</b> | <b>INTERVENTI PER LA STRUTTURA DI CONTENIMENTO E MESSA IN SICUREZZA PROVVISORIA</b> | <b>13</b> |
| 3.2.1      | COLLEGAMENTO E INTERAZIONE MARTINETTI CON STRUTTURE TORRE                           | 14        |
| 3.2.2      | STRUTTURE DI SOSTEGNO PROVVISORIA IN ACCIAIO                                        | 16        |
| 3.2.3      | OPERE DI FONDAZIONE STRUTTURA PROVVISORIALE RETICOLARE IN ACCIAIO                   | 18        |
| <b>4</b>   | <b>FASI ESECUTIVE</b>                                                               | <b>20</b> |

## 1 PREMESSE

La Torre Civica o Torre Campanaria, di proprietà del Comune di Portogruaro, si erge sul lato sinistro della Concattedrale di Sant'Andrea e chiude ad Ovest piazza Duomo.

Secondo alcuni studiosi la costruzione risale al XII-XIII secolo, ritenendola contemporanea all'antica chiesa di Sant'Andrea, abbattuta nel 1793 per far posto al nuovo Duomo.

La torre, dell'altezza di circa 59 m, ha un impronta quadrata con lato alla base di 7.3 m circa: sulla base di quanto disponibile da fonti storiche, le fondazioni sono continue lungo il perimetro, di larghezza pari a  $2.5 \div 3$  m circa ed impostate a 3 m circa di profondità dal piano campagna, in allargamento di 0.8 m circa rispetto all'impronta di base della torre.

Sulla base della documentazione disponibile e dei sondaggi eseguiti si può ipotizzare uno schema di fondazione costituita da pietra naturale, che dal piano campagna si estende a -2.80 m circa di profondità, poggiante su un tavolato di legno sostenuto da una palificata di pali in legno di lunghezza  $1.5 \div 2$  m. La tecnica costruttiva risulta paragonabile a quella di molti altri edifici veneziani.

La peculiarità di questa costruzione è la sua notevole pendenza verso Nord-Est.

L'inclinazione, dovuta ad una rotazione rigida della fondazione della Torre, ha origini molto antiche. Basta osservare che la muratura in prossimità della cella campanaria, oltre ad avere una diversa tessitura, presenta anche una diversa inclinazione, più verticale rispetto alla parte sottostante a causa di una sopraelevazione avvenuta tra il 1877 e il 1879.

È stato redatto un rilievo geometrico dell'intero manufatto nel 2001, da cui si evince una generale vistosa inclinazione rispetto alla verticale che (visto l'andamento decrescente in altezza) si presume sia iniziata già in fase di costruzione, a conferma di quanto sopra evidenziato.

Pure la cuspide ricostruita alla fine del 1800, ovviamente con asse verticale, presenta comunque, anche se molto meno del fusto, un po' di "fuori piombo".

Se ne deduce il progressivo accentuarsi del fenomeno con l'andare del tempo.

In fase di redazione del rilievo in corrispondenza dello spigolo Nord Est del poggolo sovrastante la cella campanaria posta ad un'altezza di circa 37 m dal suolo, il "fuori piombo" era di 1.2 m circa.

L'Amministrazione Comunale ha pertanto commissionato ad un gruppo di ricercatori dell'Università di Trento un monitoraggio permanente della Torre che è tutt'ora in atto già da diversi anni.

Per fare una sintesi delle risultanze in base all'elaborazione dei dati acquisiti, tra il 2003 e il 2007, *“si conferma che lo spostamento globale della Torre segue, con molta approssimazione, un andamento a spirale, con verso antiorario, e direzione di spostamento NE. Lo spostamento complessivo dall'inizio del monitoraggio risulta pari a 10.18 mm. Visti i dati acquisiti finora, la presenza di un trend di spostamento di 2mm/anno può essere data per certa.”*

Accanto al rilievo geometrico è stata anche eseguita una campagna di sondaggi ed indagini atte a meglio individuare le caratteristiche fisico meccaniche delle murature.

In particolare sono state eseguite delle prove con martinetti singoli (per valutare le puntuali tensioni presenti), con martinetti doppi (per valutare le caratteristiche fisico meccaniche), carotaggi con asportazione indisturbata del materiale (onde individuare l'andamento della stratigrafia dei componenti) ed indagini endoscopiche sui fori presenti o altri eseguiti ad hoc. Sotto questo aspetto è emerso un quadro generalmente abbastanza positivo salvo nella parte basamentale, ove si è intervenuti d'urgenza nel 2005.

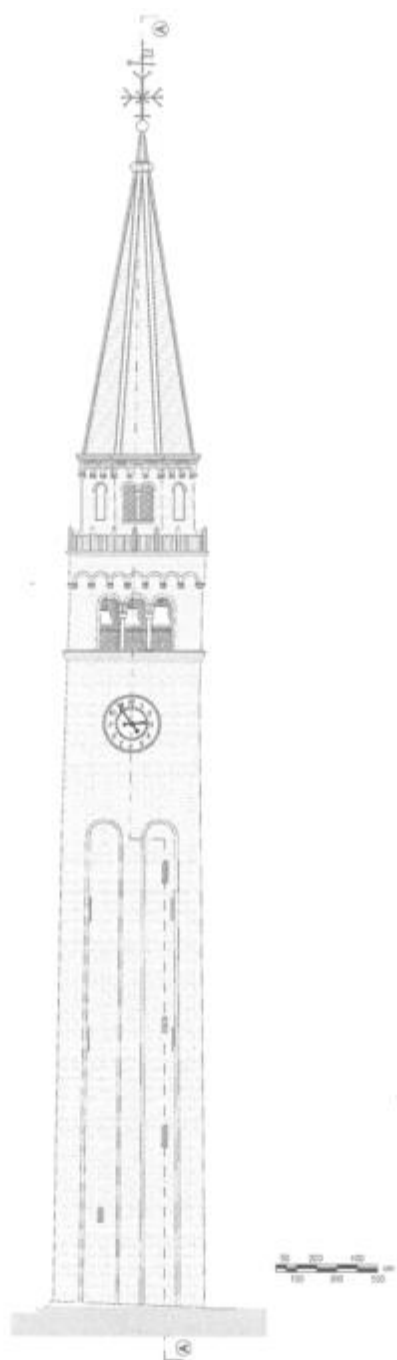
Altri interventi più importanti, che hanno riguardato soprattutto un consolidamento generalizzato della compagine muraria attraverso iniezioni cementizie e cordoli in c.a. a diversi livelli, sono stati eseguiti dal 1962 al 1975.

Durante l'intervento del 1975, in particolare, si è proceduto alla ricomposizione della parte basamentale del fusto ove erano evidenti segni di distacco del paramento esterno dal nucleo centrale. Tramite una diffusa tirantatura trasversale, i cui elementi di riscontro si possono notare internamente, si è operato sulla parte inferiore bloccando di fatto il degrado in atto.

È stata inoltre programmata la prosecuzione, seppur con un consolidamento “meno pesante”, su un settore superiormente attiguo, ma è stata procrastinata per poter affrontare prioritariamente il problema dell'incremento dell'inclinazione sopra citata.

In effetti il quadro della natura e delle caratteristiche dei terreni di fondazione non era mai stato convenientemente approfondito in precedenza.

Vista l'evoluzione degli spostamenti, l'Amministrazione Comunale di Portogruaro ha affidato agli scriventi la redazione del progetto dell'intervento di consolidamento della torre.



*Figura 1 - Prospetto sud (ricavato dal rilievo dell'ing.A. Busetto) –Tratta dalla Tesi di Laurea di Nicola Naldo, "Valutazione della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro", Università degli Studi di Trento*

## 2 CONSIDERAZIONI SULLE CAUSE DEI CEDIMENTI

I risultati delle indagini geognostiche, sintetizzati nell'elaborato R2, evidenziano un profilo stratigrafico abbastanza uniforme, con profondità e spessori dei diversi litotipi pressoché costanti al di sotto delle due verticali indagate. Qualche diversità si può individuare nelle stratigrafie al di sotto di 15 m di profondità.

Lo strato coesivo argilloso e torboso individuato fino a -11 m, responsabile della maggior parte dei cedimenti della torre, è uniforme, anche se appare meno consistente in corrispondenza del sondaggio 2.

È evidente che i pali di legno di fondazione interessano solo parzialmente tale strato, come già detto molto compressibile e quindi soggetto a cedimenti anche per modesti incrementi di carico.

I cedimenti differenziali della fondazione della Torre non sembrano, quindi, legati a condizioni stratigrafiche disuniformi, ma piuttosto ad una inclinazione che si è manifestata sin dalla costruzione della Torre, oppure dovuta agli effetti della costruzione prima dell'antica Chiesa, e poi, al suo posto, del nuovo Duomo (di dimensioni maggiori), verso cui la torre pende.

I carotaggi del marzo 2009 confermano quelli già condotti nell'ottobre 1995, ovvero una fondazione in muratura e pietra che si spinge a 2.80 m ÷ 3.10 m circa di profondità da piano campagna.

Il tavolato in legno su cui poggiano i pali risulta 30 ÷ 40 cm più profondo in corrispondenza del carotaggio S-C, in accordo con il cedimento globale della Torre.

Le strutture di fondazione risultano generalmente omogenee, con uno stato di fratturazione della pietra e della muratura più accentuato in corrispondenza del carotaggio SC, posto sul lato Est della Torre.

Va sottolineato che i pali di legno, la cui testa si trova tra l'altro nella zona di escursione di falda, presentano uno stato di conservazione da mediocre a pessimo.

Le cause del cedimento differenziale della Torre Civica debbono anche ricercarsi nel progressivo degrado dei pali di fondazione causato da variazioni del regime di falda occorse negli anni nel contesto delle modifiche degli edifici e delle strutture adiacenti.

### **3 INTERVENTI IN PROGETTO**

Alla luce delle indagini svolte, si rende necessario ed improrogabile un intervento di consolidamento delle fondazioni, atto ad eliminare il fenomeno d'incremento della rotazione della Torre.

In considerazione dei fenomeni in atto e delle incognite sullo stato di consistenza delle strutture della torre campanaria, al fine di poter svolgere in sicurezza le operazioni di consolidamento, risulta necessaria la realizzazione di una struttura di contenimento provvisoria in grado di poter sostenere la torre durante i lavori, oltre che il monitoraggio continuo della torre stessa durante tutto il periodo dei lavori.

Il progetto nel suo complesso può quindi essere suddiviso nei seguenti elementi:

- intervento di consolidamento delle fondazioni della torre mediante cordolo perimetrale di sottofondazione e infissione di pali tipo Soles;
- interventi per la struttura di contenimento e messa in sicurezza provvisoria;
- monitoraggio.

Tutti i suddetti elementi sono fondamentali per la buona riuscita dell'intervento che, su richiesta dell'ente appaltante, è stato suddiviso in due lotti funzionali, di cui il primo (vedi paragrafo 4) prevede gli interventi necessari per la struttura di contenimento e messa in sicurezza provvisoria, e il secondo quelli per il consolidamento delle strutture di fondazione della torre civica.

Gli aspetti relativi al piano e alla strumentazione per il monitoraggio sono stati sviluppati, su incarico dell'amministrazione appaltante, dal gruppo di lavoro Dipartimento di Ingegneria Meccanica e Strutturale dell'Università degli studi di Trento guidato dal dott. Daniele Zonta.

Il sistema di monitoraggio, i cui dettagli sono riportati nella relazione allegata al progetto, dovrà essere messo in opera prima di iniziare i lavori; gli aspetti di maggior importanza che dovranno essere monitorati sono i seguenti:

- comportamento delle struttura durante le fasi di scavo per la realizzazione del cordolo di sottofondazione e monitoraggio dell'interazione con la struttura di sostegno provvisoria prevista e di seguito descritta;

- comportamento della struttura durante le fasi di infissione dei pali;
- monitoraggio della struttura una volta completata l'infissione dei pali.

Il progetto è stato redatto in ottemperanza a quanto previsto dalle vigenti *Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al D.M. 14 gennaio 2008, aggiornate con la Circolare del 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. *“Istruzioni per l'applicazione nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”*, con riferimento quindi al metodo semiprobabilistico agli Stati Limite.

Gli interventi che riguardano le costruzioni esistenti sono trattati al capitolo 8 delle NTC 08: il presente progetto riguarda solo le fondazioni della struttura del campanile e vanno intese come “intervento locale”, con riferimento a quanto riportato nel paragrafo 8.4.3: *“gli interventi di questo tipo riguarderanno singole parti e/o elementi della struttura e interesseranno porzioni limitate della costruzione. Il progetto e la valutazione della sicurezza potranno essere riferiti alle sole parti e/o elementi interessati e documentare che, rispetto alla configurazione precedente al danno, al degrado o alla variante, non siano prodotte sostanziali modifiche al comportamento delle altre parti e della struttura nel suo insieme e che gli interventi comportino un miglioramento delle condizioni di sicurezza preesistenti.”*.

La norma, sempre al paragrafo 8.4, definisce inoltre che per i beni di interesse culturale in zone dichiarate a rischio sismico, come quello in oggetto, *“ai sensi del comma 4 dell'art. 29 del D. lgs. 22 gennaio 2004, n. 42 “Codice dei beni culturali e del paesaggio”, è in ogni caso possibile limitarsi ad interventi di miglioramento effettuando la relativa valutazione della sicurezza.”*

L'intervento di consolidamento delle fondazioni della torre descritto nella presente relazione non riguarda né l'individuazione né la sistemazione di eventuali carenze strutturali della torre per la sua parte fuori terra.

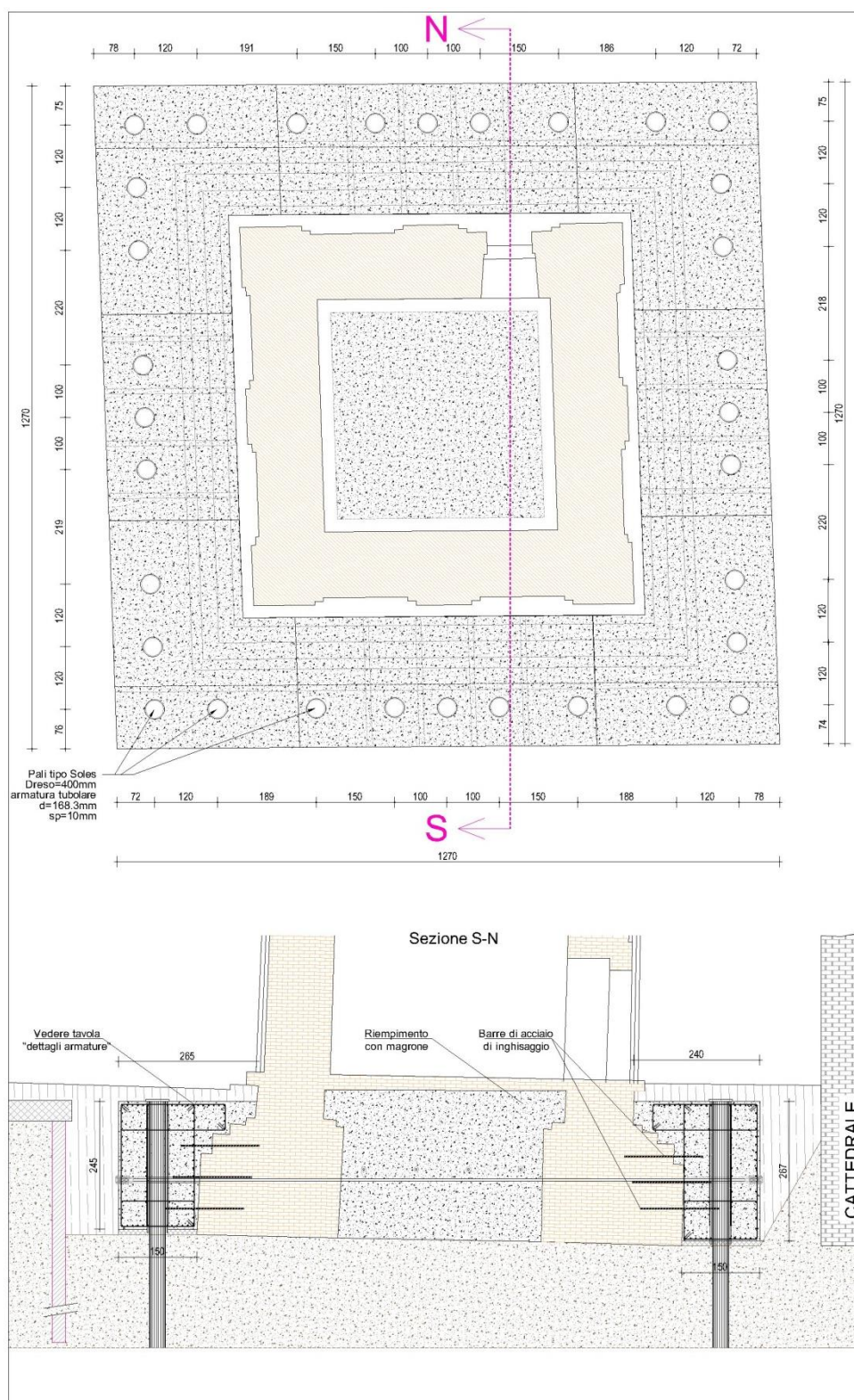
Di seguito si riporta in dettaglio la descrizione relativa agli interventi di consolidamento delle fondazioni della torre e delle strutture provvisorie di sostegno.

### 3.1 INTERVENTO DI CONSOLIDAMENTO DELLE FONDAZIONI DELLA TORRE

L'intervento di consolidamento, che può essere classificato come un intervento di sottofondazione, prevede, in estrema sintesi, il getto di un cordolo in calcestruzzo armato in modo da ampliare in modo significativo l'impronta della fondazione esistente dalla torre, riducendo così le pressioni trasmesse al terreno di fondazione e garantendo nel contempo la capacità portante. Al fine di poter controllare i cedimenti totali e differenziali della torre, è inoltre prevista la messa in opera di pali ad infissione senza asporto di terreno tipo "Soles" vincolati al nuovo cordolo di fondazione.

Il cordolo ha una sezione rettangolare utile di larghezza pari a 1.5m ed altezza di circa 2.5m e deve essere gettato a conci, in n° di 3 per lato, in modo da limitare le dimensioni degli scavi necessari per la sua posa in opera, al fine di arrecare il minor disturbo possibile alla struttura esistente. I conci in c.a., oltre ad essere opportunamente armati e dotati di barre di acciaio di ripresa che consentano la reciproca ed ottimale interconnessione fra i getti successivi, dovranno essere provvisti di predisposizioni sia per la successiva realizzazione di pali di fondazione verticali tipo Soles, sia per l'inserimento di trefoli in acciaio orizzontali passanti da lato a lato del cordolo perimetrale (con perforazione della fondazione in pietrame e del suo nucleo interno), con cui precomprimere e legare complessivamente la piattaforma di fondazione. Al fine di garantire efficace collegamento fra il cordolo in c.a. ed il dado di fondazione esistente in muratura, si prevede di disporre n°3 barre di inghisaggio in acciaio con diametro  $\phi 30$  ad interasse di 30cm. Le barre, inserite nella muratura di fondazione per almeno 50cm previa foratura, devono essere solidarizzate con essa tramite resine epossidiche e devono sporgere per almeno 50cm al fine di consentire adeguato immorsamento nel cordolo in c.a. successivamente gettato.

Prima del getto del cordolo perimetrale della fondazione della Torre, si prevede: di verificare la consistenza del nucleo interno della fondazione, di sostituirlo eventualmente con calcestruzzo in modo da creare un nucleo rigido in grado di sopportare la successiva precompressione, e di perforare il nucleo in corrispondenza dei trefoli in acciaio previsti al fine di consentirne l'installazione.



*Figura 2 – Pianta e sezione intervento di sottofondazione della torre con cordolo in c.a. e pali per il controllo dei cedimento*

Si procederà quindi con l'installazione dei trefoli in acciaio passanti completamente da lato a lato (n°6 Sud→Nord e n°4 Ovest→Est) dell'intero blocco di fondazione: all'interno quindi sia dei fori predisposti nei cordoli in c.a., sia della fondazione esistente in pietrame e del nucleo in calcestruzzo. Come detto tali barre dovranno poi essere opportunamente pretensionate (operando dai lati Sud ed Ovest) in modo da precomprimere e legare l'intera piattaforma di fondazione.

Sarà poi possibile realizzare, in corrispondenza del cordolo perimetrale in c.a., i pali di tipo Soles, in tutto n°32 pali, utilizzando le predisposizioni poste in opera all'interno del cordolo stesso in fase di getto.

Le predisposizioni sono costituite da un tubolare in acciaio (tubo guida) passante il getto in calcestruzzo e solidale ad esso, di diametro maggiore rispetto al tubolare di armatura del palo da realizzare: quest'ultimo verrà inserito all'interno del tubo guida solo al momento opportuno e sarà libero di scorrere attraverso il cordolo di fondazione proprio grazie al tubo guida.

Alla base del tubo guida, in corrispondenza quindi dell'intradosso del getto in c.a. del cordolo di fondazione, viene disposta a contatto con il terreno anche una piastra in acciaio di forma circolare con diametro pari al diametro reso previsto per il palo (maggiore del diametro del tubolare di armatura). La piastra, che costituirà la punta del palo, è dotata di un bicchiere in acciaio coassiale al tubolare di armatura: il diametro del bicchiere deve essere tale da permettere l'incastro con il tubolare di armatura inserito successivamente.

Terminati il getto del cordolo di fondazione in c.a., il consolidamento del nucleo del campanile e la precompressione della piastra di fondazione, sarà possibile come detto installare i pali sfruttando le predisposizioni (tubo guida, piastra di base e bicchiere) sopra descritte: per ciascun palo è necessario inserire all'interno della guida il tubolare di armatura in acciaio, che va ad incastrarsi con la piastra di base tramite il bicchiere.

Viene quindi installato il dispositivo di spinta dotato di martinetti idraulici che, ancorato al cordolo di fondazione che funge da contrasto, spinge il tubolare di armatura e la piastra di base infiggendoli a pressione nel terreno.

Poiché il diametro della piastra di base è maggiore di quello dell'armatura tubolare che la segue, durante l'infissione viene a formarsi un'intercapedine fra armatura e terreno che viene immediatamente riempita di calcestruzzo tramite un tubo-getto (anch'esso inizialmente predisposto ed annegato nel getto del cordolo di fondazione).

Quando la punta del palo raggiunge la profondità prestabilita, il dispositivo di spinta viene rimosso e l'intercapedine fra tubo guida e tubo di armatura viene riempita di calcestruzzo in modo da rendere solidale al cordolo di fondazione il palo appena realizzato.

I pali tipo Soles non prevedono dunque estrazione di terreno e produzione di materiali di risulta: durante la loro infissione il terreno nell'intorno del palo subisce un sensibile fenomeno di costipamento, a vantaggio della loro capacità portante.

La scelta di questa tipologia di pali offre i seguenti vantaggi operativi:

- assenza di vibrazioni poiché l'infissione avviene a mezzo di martinetti oleodinamici, con conseguente assenza di disturbo nei confronti della struttura su cui si interviene e sui manufatti adiacenti;
- ridotte dimensioni di tutte le attrezzature necessarie, con la possibilità quindi di operare in spazi ristretti sia in larghezza che in altezza o in adiacenza a strutture ed edifici esistenti;
- possibilità di monitorare tutti i parametri di infissione di ciascun palo ed eventualmente, se necessario, di incrementarne la spinta prima della solidarizzazione fra armatura e tubo guida.

Sono previsti in tutto n°32 pali di diametro  $D=400\text{mm}$  e lunghezza utile  $L=9\text{m}$ , da -3 a -12m da piano campagna, armati con tubolare in acciaio S355 con diametro esterno  $d=168.3\text{mm}$  e spessore  $s=10\text{mm}$ .

La punta dei pali sarà quindi intestata nell'orizzonte di ghiaia e sabbia individuata dalle indagini a partire da circa 11m di profondità da piano campagna.

Durante l'infissione dei pali è previsto il monitoraggio in continuo della torre per verificare gli spostamenti ed eventualmente correggere, anche se in modo limitato, l'inclinazione. Le fasi e la sequenza di infissione dei pali dovranno essere concordate con la direzione lavori anche a seguito dei risultati del monitoraggio durante l'infissione stessa dei pali; sempre a seguito dei risultati del monitoraggio sarà possibile limitare il numero dei pali da infiggere rispetto a quelli previsti.

Per poter realizzare tale intervento, in considerazione dei fenomeni in atto e dello stato di consistenza delle strutture delle torre campanaria, il progetto prevede una complessa serie di lavorazioni e fasi di intervento atte a garantire la massima sicurezza sia per gli operatori che per l'opera.

### 3.2 INTERVENTI PER LA STRUTTURA DI CONTENIMENTO E MESSA IN SICUREZZA PROVVISORIA

Durante le fasi di scavo per il getto del cordolo perimetrale di fondazione in c.a. e l'installazione dei pali, si prevede di mettere in sicurezza la torre tramite un sistema provvisorio di contrasto costituito da profili in acciaio connessi ad un sistema oleodinamico, disposti orizzontalmente in corrispondenza del suo baricentro, a circa 15 m di altezza da piano campagna. Tali elementi, che interagiranno con la muratura tramite piastre di ripartizione, saranno ancorati ad una struttura provvisoria in acciaio, di tipo reticolare, fondata su micropali tradizionali, disposta lungo i lati Est, Sud ed Ovest della torre, occupando parte del limitato spazio disponibile fra la torre stessa ed i fabbricati adiacenti (Figura 3).

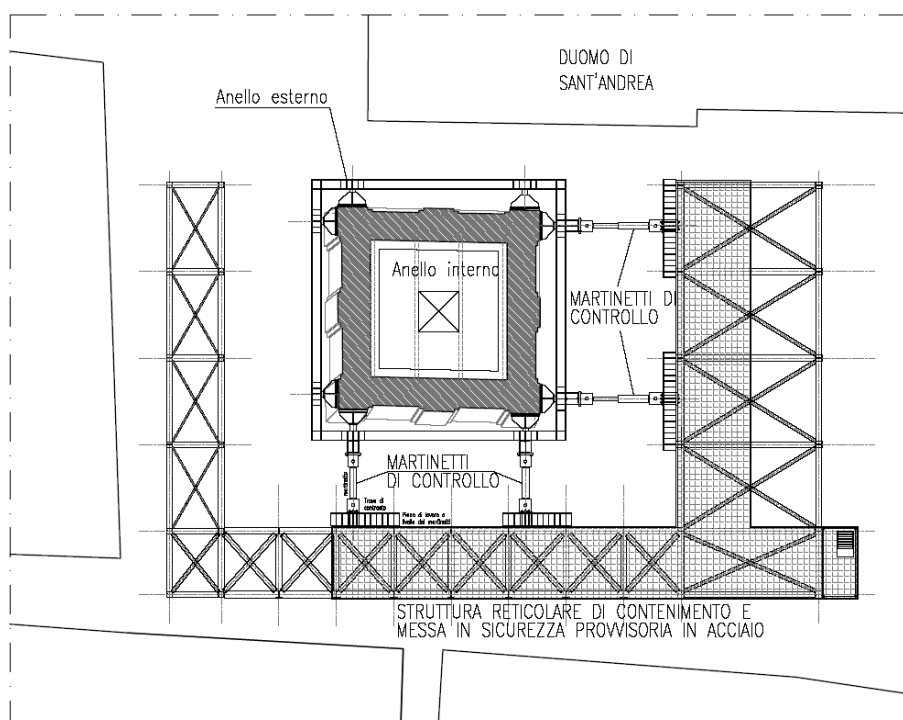


Figura 3 – Pianta struttura di sostegno provvisoria

### 3.2.1 COLLEGAMENTO E INTERAZIONE MARTINETTI CON STRUTTURE TORRE

Nel corso dell'intervento si prevede di poter applicare forze stabilizzanti in grado di controllare eventuali incrementi di inclinazione della torre con un sistema di martinetti idraulici applicati ad un'altezza corrispondente al baricentro della torre (15m circa). I martinetti saranno collegati da una parte alla struttura di contrasto provvisoria, dall'altra ad un sistema di trasmissione dei carichi alla muratura della torre. Lo schema generale del sistema è rappresentato in Figura 3.

Il progetto del sistema di collegamento è stato condiviso con il gruppo di lavoro dell'Università degli Studi di Trento. La soluzione, che tiene conto dell'interazione tra la torre campanaria e la struttura di sostegno, è stata concepita per non arrecare alcun danno alle strutture esistenti.

Alla luce della geometria della piazza e delle caratteristiche meccaniche della torre, si è scelto di posizionare i martinetti idraulici in corrispondenza degli spigoli della torre, a livello del baricentro della stessa. Sono stati scelti 4 martinetti: 2 posizionati sul lato EST e 2 sul lato SUD.

La capacità dei martinetti è stata scelta sia sulla base di modellazioni numeriche atte a riprodurre gli effetti degli scavi, sia in base a semplici relazioni di equilibrio condotte dall'Università degli studi di Trento. Il sistema è concepito per funzionare sia in trazione (in tiro) che in compressione (in spinta) in ciascuna direzione in modo da poter imporre alla torre forze in qualunque verso.

Rimanendo a favore di sicurezza sono stati scelti dei martinetti in grado di esplicare una forza massima pari a 1000 kN e corsa totale pari a 30 cm, quindi: 2 martinetti tra loro indipendenti compressione/trazione da 1000 kN sul lato EST (totale 2000 kN); 2 martinetti indipendenti compressione/trazione da 1000 kN sul lato SUD (totale 2000 kN). Ogni martinetto presenterà alle proprie estremità due snodi che fungono da cerniere sferiche in grado di assecondare eventuali movimenti differenziali tra torre e struttura di contrasto.

Data l'elevata distanza tra la torre e la struttura di contrasto sarà necessario inserire, per ogni martinetto, una prolunga per poter trasferire la forza al sistema di aggancio lato torre.

La connessione lato torre avverrà tramite un anello esterno sufficientemente rigido, a sua volta collegato a delle piastre di ripartizione con impronta pari a 2 m x 1 m.

In caso di funzionamento in spinta, il carico dei martinetti sarà trasmesso direttamente alle piastre di ripartizione; in caso di funzionamento in tiro, invece, le forze

saranno trasmesse all'anello esterno che a sua volta riporterà il carico alle piastre di ripartizione. In questo modo la forza sulla muratura sarà sempre di compressione.

In Figura 4 si riporta la soluzione del sistema martinetti/prolunga per la trasmissione della forza imposta dal martinetto all'anello esterno e alla piastra nervata di ripartizione.

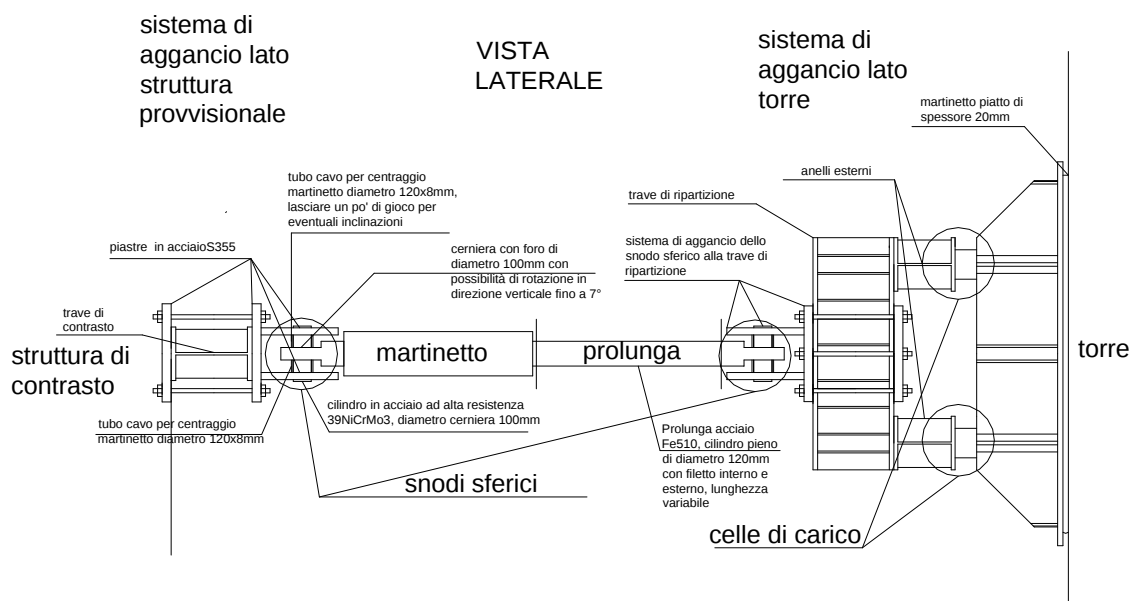


Figura 4 – vista laterale del sistema di connessione tra Torre e Struttura provvisoria

Per distribuire la forza concentrata imposta dal martinetto alla muratura nella maniera più uniforme possibile s'interporrà, tra la piastra nervata e la muratura, un cuscinetto ad olio (martinetto piatto) in grado di deformarsi applicando però alla muratura una pressione che sia più costante possibile.

Inoltre, per conoscere il valore esatto della forza imposta dai martinetti alla piastra nervata, e quindi alla muratura, s'interporrà delle celle carico tra anello esterno e piastre di ripartizione.

Infine, allo scopo di contrastare la possibile distorsione angolare della sezione del fusto in corrispondenza dell'attacco, in presenza di uno sbilancio di forza dei martinetti, si è previsto di realizzare anche un diaframma interno alla torre, costituito da una soletta in c.a. di spessore pari a 25cm.

### 3.2.2 STRUTTURE DI SOSTEGNO PROVVISORIA IN ACCIAIO

La struttura provvisoria di contrasto consente l'esecuzione in sicurezza dei lavori di consolidamento, sia nei riguardi dell'incolumità delle persone sia per la conservazione del bene architettonico.

Tale struttura, del tipo reticolare in acciaio, presenta pianta a "U" di dimensioni massime pari a circa 22.6 m x 14.2 m e altezza pari a circa 15 m. La conformazione in pianta della struttura deriva dalle ristrette dimensioni di Piazza del Duomo, mentre l'altezza di 15 m risulta quella del baricentro della torre (Figura 5).

La struttura ha principalmente lo scopo di sostenere la torre durante le delicate fasi di scavo per la realizzazione del cordolo fondazionale integrativo.

L'entità delle forze di progetto per la struttura è stata stimata sia sulla base di modellazioni numeriche atte a riprodurre gli effetti degli scavi, sia in base a semplici relazioni di equilibrio.

I valori di progetto sono stati forniti dal gruppo di lavoro dell'Università degli Studi di Trento<sup>1</sup>: rimanendo a favore di sicurezza è stato scelto un valore caratteristico di progetto pari a 1500kN per ogni direzione principale della torre.

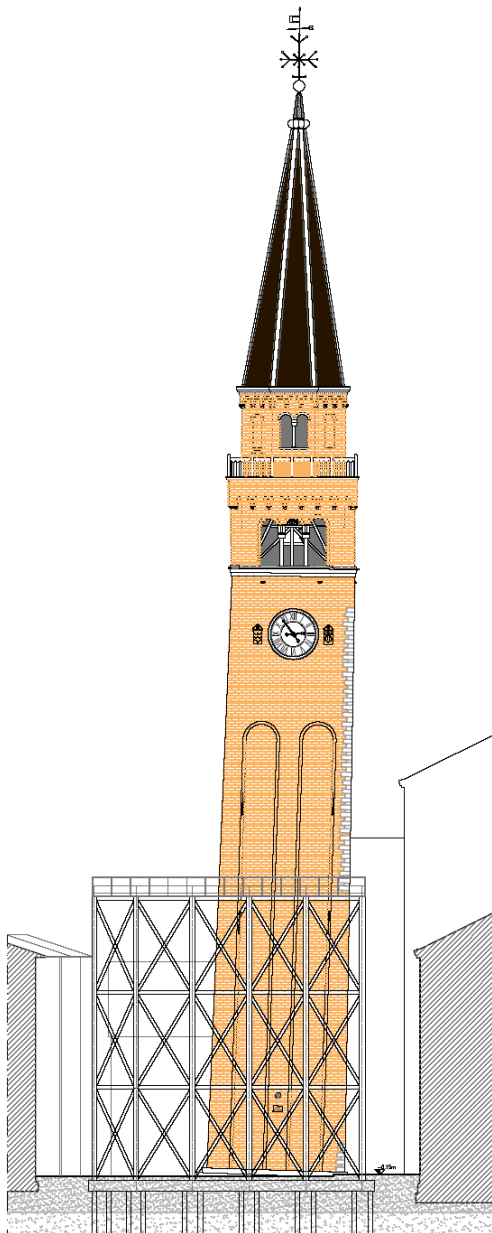
La progettazione strutturale è stata svolta in conformità alle *Norme Tecniche per le Costruzioni* di cui al D.M. 14/01/2008 ed alla relativa circolare esplicativa, che prevedono l'impiego del metodo semiprobabilistico agli stati limite.

Per il calcolo degli elementi strutturali si è utilizzato un modello di calcolo agli elementi finiti di tipo tridimensionale, atto a rappresentare in modo adeguato le effettive distribuzioni di massa e di rigidezze (Figura 6).

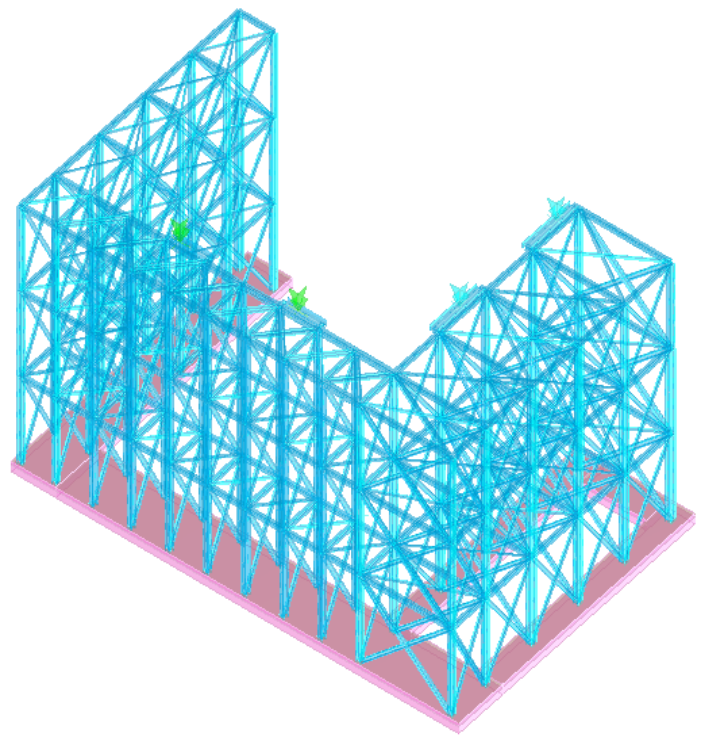
Trattandosi di struttura provvisoria di durata inferiore ai due anni, le verifiche in caso di sisma per la struttura in esame sono state omesse, come consentito al punto 2.4.1 del D.M. 14.01.2008.

---

<sup>1</sup> Studio della sicurezza della Torre Civica di Portogruaro. Modellazione numerica della torre civica finalizzata agli interventi di consolidamento. Rapporto 15-rev 2 del 26-07-13 Università degli Studi di Trento, Dipartimento di Ingegneria Civile Ambientale e Meccanica.



*Figura 5 – Prospetto struttura provvisoria di contrasto*



*Figura 6 – Struttura di sostegno provvisoria in acciaio*

### 3.2.3 OPERE DI FONDAZIONE STRUTTURA PROVVISORIALE RETICOLARE IN ACCIAIO

Per la struttura provvisoriale di sostegno in acciaio è prevista una platea di fondazione su micropali in grado di garantire nei confronti delle azioni verticali e orizzontali.

Si prevede di utilizzare micropali di fondazione di lunghezza 14 m (dalla base delle travi di collegamento, ovvero da circa -1 m a -15 m da piano campagna), con punta intestata nell'orizzonte di ghiaia e sabbia individuata dalle indagini a partire da circa 11 m di profondità da piano campagna; i micropali sono previsti iniettati a bassa pressione, con diametro reso  $D=250$  mm ed armatura tubolare in acciaio S355 di diametro  $D=177.8$  mm e spessore 10 mm.

Lo schema della fondazione è riportato nelle seguenti figure.

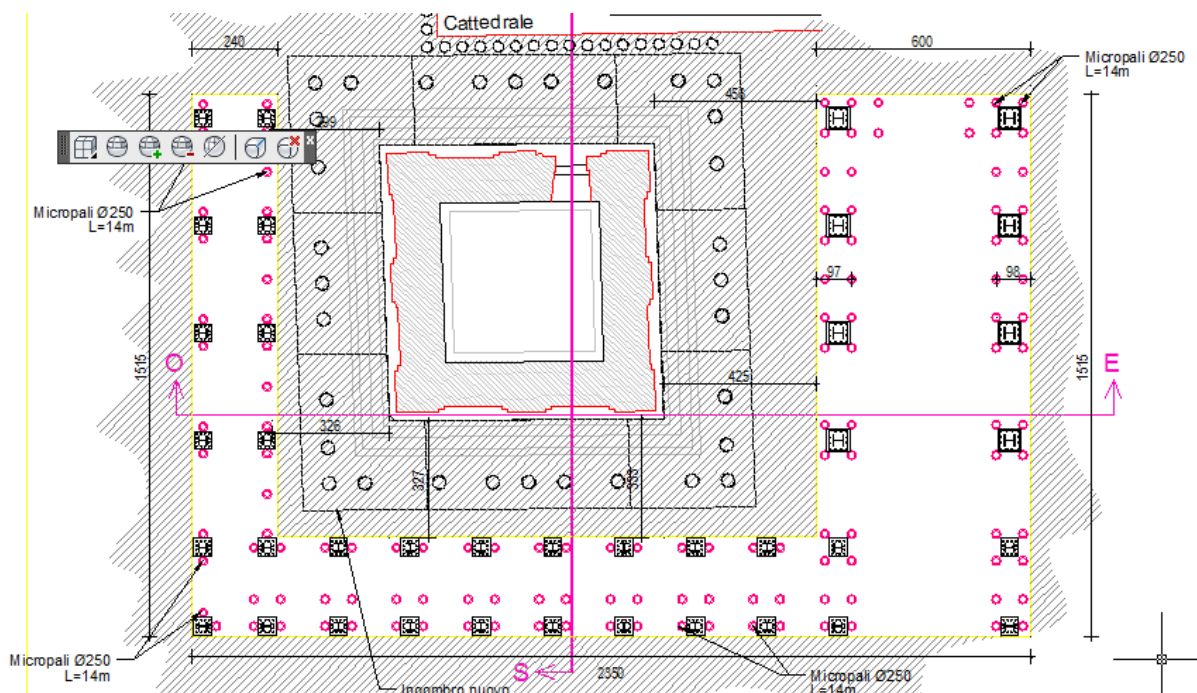


Figura 7 – Pianta intervento platea di fondazione della struttura provvisoriale in acciaio su micropali.

SEZIONE "O-E" OPERE DI FONDAZIONE STRUTTURA PROVVISORIALE  
Scala 1:100

Misure espresse in centimetri

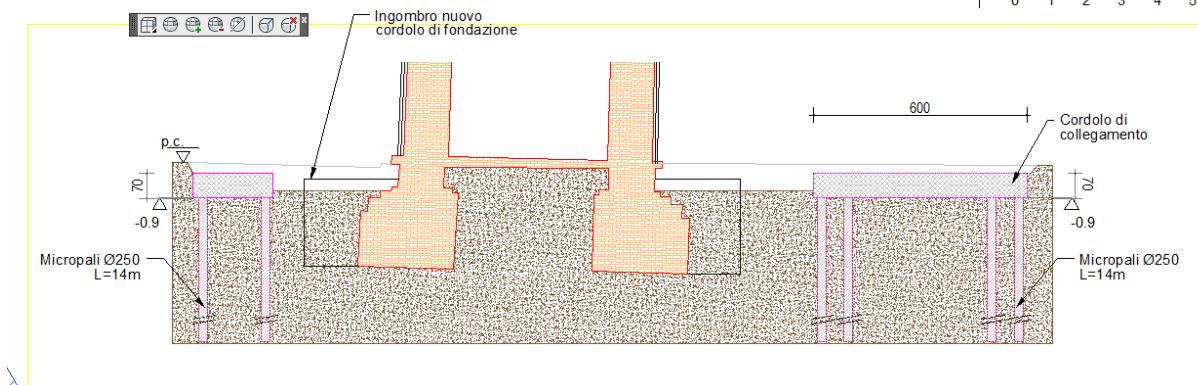
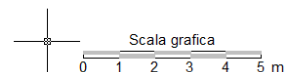


Figura 8 – Sezione intervento platea di fondazione della struttura provvisoria in acciaio su micropali.

## 4 FASI ESECUTIVE

Di seguito vengono descritte le fasi esecutive per il completamento dell'intervento.

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | <b>SPOSTAMENTO SOTTOSERVIZI INTERRATI</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- allestimento cantiere;</li><li>- opere di demolizione pavimentazioni esistenti per il passaggio dei nuovi cavidotti interrati in cui far passare le reti tecnologiche;</li><li>- attivazione bypass per nuove reti tecnologiche;</li><li>- dismissione reti tecnologiche esistenti;</li><li>- messa in sicurezza provvisoria pavimentazione esistente;</li></ul>                                                                                                    |
| 2 | <b>OPERE INTERNE AL FUSTO</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- rimozione scala intera</li><li>- indagini sulle fondazioni</li><li>- ponteggio metallico interno</li><li>- solaio interpiano in c.a.</li><li>- eliminazione scala esterna</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| 3 | <b>REALIZZAZIONE PALIFICATA OPERA DI SOSTEGNO PROVVISORIA</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- scavo a sezione ampia obbligata;</li><li>- esecuzione micropali trivellati;</li><li>- getto magrone di sottofondazione;</li><li>- posa ferro di armatura platea e carpenteria per ancoraggio tirafondi;</li><li>- getto platea per sostegno struttura metallica;</li><li>- rinterro sul perimetro della platea e sistemazione piano calpestio;</li></ul>                                                                                        |
| 4 | <b>STRUTTURA METALLICA DI SOSTEGNO PROVVISORIA</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- ponteggio fisso</li><li>- messa in opera struttura metallica;</li><li>- messa in opera "aste" di controllo con martinetti;</li><li>- messa in opera ponteggio con scalette di accesso al piano di controllo martinetti;</li><li>- collaudo martinetti, attivazione procedure di controllo, segnalazione allarme e piani di emergenza</li><li>- sgombero opere provvisorie;</li><li>- spostamento recinzione a ridosso della struttura metallica;</li></ul> |
| 5 | <b>CONSOLIDAMENTO SPIGOLO CATTEDRALE</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |
| 6 | <b>OPERE SULLE FONDAZIONI</b><br><b>OPERE INTERNE</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- scavo a sezione ristretta</li><li>- fondazione interna in cls</li></ul> <b>OPERE ESTERNE</b><br><b>Fase A</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- scavo a sezione obbligata per conci lati;</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                               |

|   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|---|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|   | <ul style="list-style-type: none"><li>- getto magrone di sottofondazione;</li><li>- posa ferro di armatura ed ancoraggi con fondazioni campanile;</li><li>- posa in opera camicie per pali cilindri;</li><li>- inserimento "guaine" cilindriche per passaggio tiranti;</li><li>- getto concio cordolo di fondazione lato sud ovest;</li></ul> Fase B <ul style="list-style-type: none"><li>- messa in tiro e bloccaggio tiranti orizzontali nei due sensi;</li></ul> Fase C <ul style="list-style-type: none"><li>- infissione pali tipo SOLES torre</li><li>- eventuale ripresa dei pali in funzione del monitoraggio</li></ul> |
| 7 | <b>RIPRISTINI</b> <ul style="list-style-type: none"><li>- smontaggio struttura esterna</li><li>- demolizione platea micropali</li><li>- sistemazione reti interrato</li><li>- rifacimento piazza</li><li>- chiusura cantiere</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |

prof. ing. Francesco Colleselli



## **CONSIDERAZIONI FINALI**

Dai contenuti della presente relazione e da tutti gli elaborati del progetto esecutivo, nonché dalla documentazione propedeutica e/o collaterale alla progettazione, tra cui in particolare le risultanze dei monitoraggi a cura dell'Università di Trento, si evince inequivocabilmente che il presente intervento risulta indifferibile e urgente in relazione alla stabilità del campanile.

L'intervento non affronta invece le altre situazioni di degrado che riguardano la parte emergente della fabbrica per le quali dovrà essere predisposto il relativo progetto di restauro, approvato dagli Enti Competenti.

