



# COMUNE DI L'AQUILA

SETTORE RICOSTRUZIONE PUBBLICA



## LAVORI DI CONSOLIDAMENTO E RECUPERO DI PALAZZO MARGHERITA IN PIAZZA PALAZZO – L'AQUILA

### Progetto preliminare

**Responsabile del Settore Ricostruzione Pubblica**

Dott. Ing. Mario DI GREGORIO

**Responsabile Unico del Procedimento**

Dott. Ing. Mario DI GREGORIO

**Progettazione Preliminare:**

Geom. Carlo Cafaggi

P.I. Livio Stefanucci

Arch. Federica Sulpizio

Ing. Emanuela Ferrini

Geom. Stefano Graziani

Ing. Giuseppina Ambrosio

Serie: Rilievo geometrico e analisi del danno	Data: <b>Giugno 2012</b>
Oggetto: <b>R.5 – Prove di verticalità della torre</b>	

## **PREMESSA**

La progettazione di un buon intervento in fondazione di un edificio esistente è fondamentale legata al quadro conoscitivo delle stesse:

- Geometria
- Piano di posa
- Materiali costituenti le strutture di fondazione (pietrame, mattoni, ecc.)
- Eventuali anomalie (cavità, vuoti, aperture, presenza di elementi di interesse storico-archeologico, ecc.).

Onde pervenire a tali conoscenze, sono stati eseguiti cinque sondaggi inclinati, quattro sugli spigoli del palazzo e uno sullo spigolo della torre campanaria. Nell'elaborato "Caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo di Palazzo Margherita, L'Aquila" sono sintetizzati i dati ricavati dagli accertamenti di cui sopra. Dal rilievo geometrico della fabbrica muraria in elevazione è stato altresì possibile ricostruire la più attendibile pianta delle fondazioni.

I rilievi, gli accertamenti e le verifiche eseguite mettono in evidenza la necessità di intervenire sulle stesse al fine di migliorare il loro comportamento in condizioni sismiche. L'orientamento progettuale è in linea con alcune tecnologie e regole di progettazione di miglioramento o adeguamento in fondazione che hanno ormai raggiunto una ampia condivisione, sia per la loro palese rispondenza a regole del buon costruire, sia per il riscontro acquisito dall'evidenza sperimentale in relazione al comportamento di opere in vera grandezza durante vari terremoti.

Le scelte progettuali che si intendono attuare per migliorare le fondazioni superficiali di Palazzo Margherita hanno lo scopo di aumentare la loro rigidezza al fine di impedire spostamenti relativi nelle in direzione orizzontale e verticale. Tale scopo, come noto, può essere raggiunto realizzando una piastra che collega le fondazioni esistenti coadiuvando anche gli interventi in elevazione.

L'edificio in esame risulta essere costituito da due corpi (torre campanaria e fabbricato) con comportamento dinamico profondamente differente e a sua volta recante un differente grado e tipologia di danneggiamento strutturale a seguito del sisma del 6 Aprile 2009.

Per quanto riguarda le fondazioni si è potuto riscontrare quanto segue:

- il piano di posa delle fondazioni di entrambi i corpi e quindi l'interfaccia con il terreno si configura interamente sulle brecce, seguendo la morfologia superficiale delle stesse;
- le strutture di fondazione sono confinate lateralmente da terreno di riporto di spessore variabile dai 2 ai 3 metri;
- le strutture di fondazione sono costituite da conci in pietra di dimensioni e caratteristiche prossime a quelli che costituiscono la muratura in elevazione;

a. Non è stato possibile invece accertare completamente la continuità/discontinuità delle stesse e la presenza di giunti. Tale carenza conoscitiva è riferita in particolar modo al collegamento dei plinti delle colonne del portico del cortile con i maschi murari interni e al collegamento della torre campanaria con il resto dell'edificio.

b. Le soluzioni adottate comunque consentono di superare tale mancanza di conoscenze.

Il rilievo dei danni delle strutture in elevazione mostra che il danneggiamento è stato provocato, oltre che dal martellamento della torre con il resto dell'edificio (generato dal moto asincrono degli stessi), anche da cedimenti del terreno in fondazione, seppur lievi. Gli effetti di tali cedimenti si rilevano principalmente nelle fessurazioni presenti sulla torre campanaria e meno evidentemente sul resto dell'edificio. Non si rilevano rotture in elevazioni imputabili a perdita di capacità portante sul

resto dell'edificio. L'intervento in fondazione della torre è quindi fortemente orientato a evitare futuri cedimenti nel terreno di fondazione.

In sintesi:

- l'approccio seguito è stato quello di trattare l'intervento di miglioramento in fondazione con pari dignità e unitariamente a quello in elevazione;
- per l'intero edificio è stata, per ragioni esecutive ed economiche, adottata la soluzione con piastra di collegamento che, pur non rappresentando un vero e proprio intervento in fondazione, aumenta notevolmente la rigidezza della fondazione stessa;
- per la torre campanaria è un vero e proprio intervento in fondazione in quanto interessa il volume significativo, ai fini dei cedimenti, del sottosuolo della stessa.

## **TIPOLOGIA DEGLI INTERVENTI PREVISTI**

Secondo la normativa che impone di evitare il ricorso a “fondazioni miste”, intendendo evidentemente indicare con tale espressione l'adozione di fondazioni superficiali per alcune parti della struttura in elevazione e di fondazioni su pali per altre parti della medesima struttura, la regola generale è quella adottare un'unica tipologia di fondazione per una data struttura.

Il ricorso a tipologie diverse di fondazione non presenta controindicazioni nel caso di unità strutturali appartenenti ad una stessa struttura ma fra loro dinamicamente indipendenti.

Nel caso in esame, l'indipendenza dal punto di vista dinamico verrà perseguita tramite la realizzazione di un giunto tecnico tra i due corpi in elevazione e in fondazione a garanzia dell'assenza di interazione tra i due corpi. Alla luce delle considerazioni esposte, di seguito verranno analizzati e descritti gli interventi in maniera separata, per la torre e per il fabbricato.

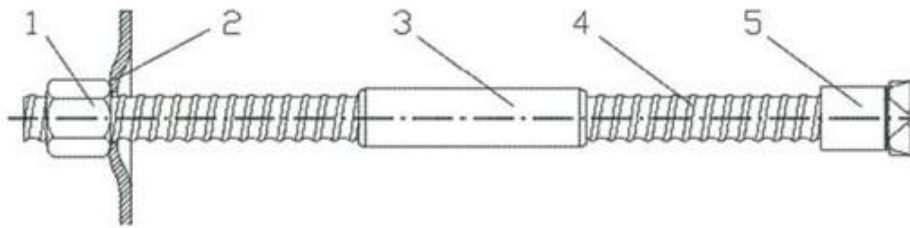
### **Torre campanaria**

Per la fondazione della torre sono stati previsti interventi che mirano sia al miglioramento della struttura di fondazione esistente (allargamento) sia al miglioramento delle proprietà meccaniche (per ottenere un aumento capacità portante e per limitare i cedimenti).

E' da rimarcare che gli interventi previsti per la torre sono a tutti gli effetti provvedimenti che migliorano il complesso sottosuolo di fondazione-fondazione e, come tali, influenzano la loro interazione.

Il sottosuolo di fondazione è costituito da brecce di buone proprietà meccaniche che garantiscono una soddisfacente capacità portante (vedi l'elaborato “Caratterizzazione geologica e geotecnica del sottosuolo di Palazzo Margherita , L'Aquila”), ma che a causa della loro eterogeneità (soprattutto nei riguardi della cementazione e della dimensione dei clasti) non garantiscono l'assenza di cedimenti differenziali e quindi di deformazioni differenti dipendentemente dalla posizione al di sotto della fondazione. Tali eterogeneità conducono alla necessità di omogeneizzare il terreno di sottofondazione tramite l'impiego di rinforzi ed iniezioni. La tecnologia scelta consiste nel realizzare pali dell'ordine di qualche centimetro di diametro, denominati “minipali”, per trasferire il carico e le sollecitazioni del sistema fondale superficiale a strati di terreno profondi e contemporaneamente procedere al consolidamento del terreno al di sotto delle fondazioni esistenti mediante l'ausilio di resine espandenti o miscele cementizie.

Generalmente lo schema di un minipalo si presenta come illustrato in figura:



(1) Dado di ancoraggio (2) Piastra (3) Manicotto (4) Barra (5) Punta

Il procedimento consiste nell'inserimento di barre di acciaio cave ad elevata resistenza attraverso l'impiego di macchinari a rotoperussione che riducono notevolmente i disagi (legati alle ridotte dimensioni delle macchine da lavoro) e i tempi di lavoro.

Le ridotte dimensioni dei minipali sono compensate dall'iniezione nel terreno di resine poliuretaniche bicomponenti ad elevata resistenza, iniettate attraverso tubi muniti di apposite valvole all'interno della cavità delle barre in acciaio. Tali resine hanno la capacità di aumentare la resistenza dei terreni, di riempire i vuoti presenti conferendo un'elevata resistenza a compressione al terreno e di limitare le dimensioni dell'intervento.

La perforazione interessa per un primo tratto la fondazione esistente (in muratura) per una lunghezza sufficiente a trasferire il carico sui minipali e per la restante lunghezza il terreno sottostante. La lunghezza della perforazione nel terreno sottostante sarà stabilita in funzione del carico limite e comunque in funzione dei risultati dedotti da test eseguiti in un campo prova che verrà realizzato in prossimità della torre.

Nel foro verrà così inserita l'armatura e i tubi di iniezione. Per il primo tratto del minipalo (testa di ancoraggio) verrà iniettato betoncino epossidico, capace di trasferire le sollecitazioni dalle fondazioni dell'edificio all'armatura metallica, mentre per il secondo tratto (nel terreno) si utilizzerà una resina poliuretanica bicomponente con grado di espansione fino a cinque/otto volte il volume iniziale e con una resistenza a compressione pari a  $30 \text{ N/mm}^2$ . Tale tratto del minipalo permetterà da un lato di trasferire le sollecitazioni dell'armatura al terreno, dall'altro di consolidare il terreno grazie alla capacità di resistenza, penetrazione ed espansione della resina poliuretanica.

I minipali installati a partire dal piano di posa delle fondazioni e non perforanti la fondazione esistente, saranno collegati tra loro in testa con una trave di raccordo (cordolo), mentre per i minipali disposti sulla fila a quota più elevata e interessanti la fondazione esistente, sarà previsto un cordolo di raccordo superiore inclinato a  $45^\circ$ , sul quale verranno disposte piastre o piatti di acciaio per il serraggio dei minipali stessi. L'accoppiamento piastra-minipalo verrà assicurato con bulloni in acciaio ad alta resistenza, il tutto comprimendo l'estradosso della cordonatura anulare della torre. Il numero e dei minipali da installare è stato stabilito sulla base di un calcolo preliminare effettuato in campo statico, mediante il quale si è cercato di attribuire l'intera portanza al sistema di minipali stesso. Numero e lunghezza definitivi dei minipali potranno essere stabiliti soltanto a seguito della realizzazione di un campo prova nel sito di intervento.

L'intervento proposto, oltre ad assicurare la stabilità dal punto di vista geotecnico e strutturale, è mirato a realizzare le condizioni di incastro perfetto della torre con il terreno. Tale espediente tende a ridurre sensibilmente il periodo fondamentale di vibrazione della torre campanaria onde mitigare l'asincronismo con il fabbricato ad essa adiacente.

I particolari esecutivi della risoluzione tecnica proposta relativi all'intervento in fondazione della torre campanaria sono mostrati negli elaborati grafici delle tavole allegate.

## Fabbricato

Per il resto dell'edificio, per quanto già accennato e chiarito in premessa, si è adottata la soluzione con piastra di collegamento, che non rappresenta un vero e proprio intervento in fondazione, in quanto non pone in diretta interazione la porzione muraria fondale con il terreno sottostante. Tale piastra costituisce un elemento strutturale orizzontale realizzato ad una quota posta tra il piano di fondazione e la muratura in elevazione fuori terra, in modo tale da collegare tutti i maschi murari portanti e non.

La cucitura strutturale con i pannelli murari è garantita sia da barre di acciaio orizzontali passanti, sia da barre inclinate non passanti. La cucitura con barre d'acciaio è collegata al graticcio di armatura della piastra, a sua volta realizzata con due strati di rete elettrosaldata. Tale soluzione consente di realizzare un elemento strutturale, capace di resistere anche a trazione.

Le barre di acciaio orizzontali passanti i maschi murari perimetrali saranno ricollegate agli interventi in elevazione attraverso una cintura, costituita da una fascia d'acciaio, al livello del piano orizzontale della piastra, serrata a tale armatura con dei bulloni.

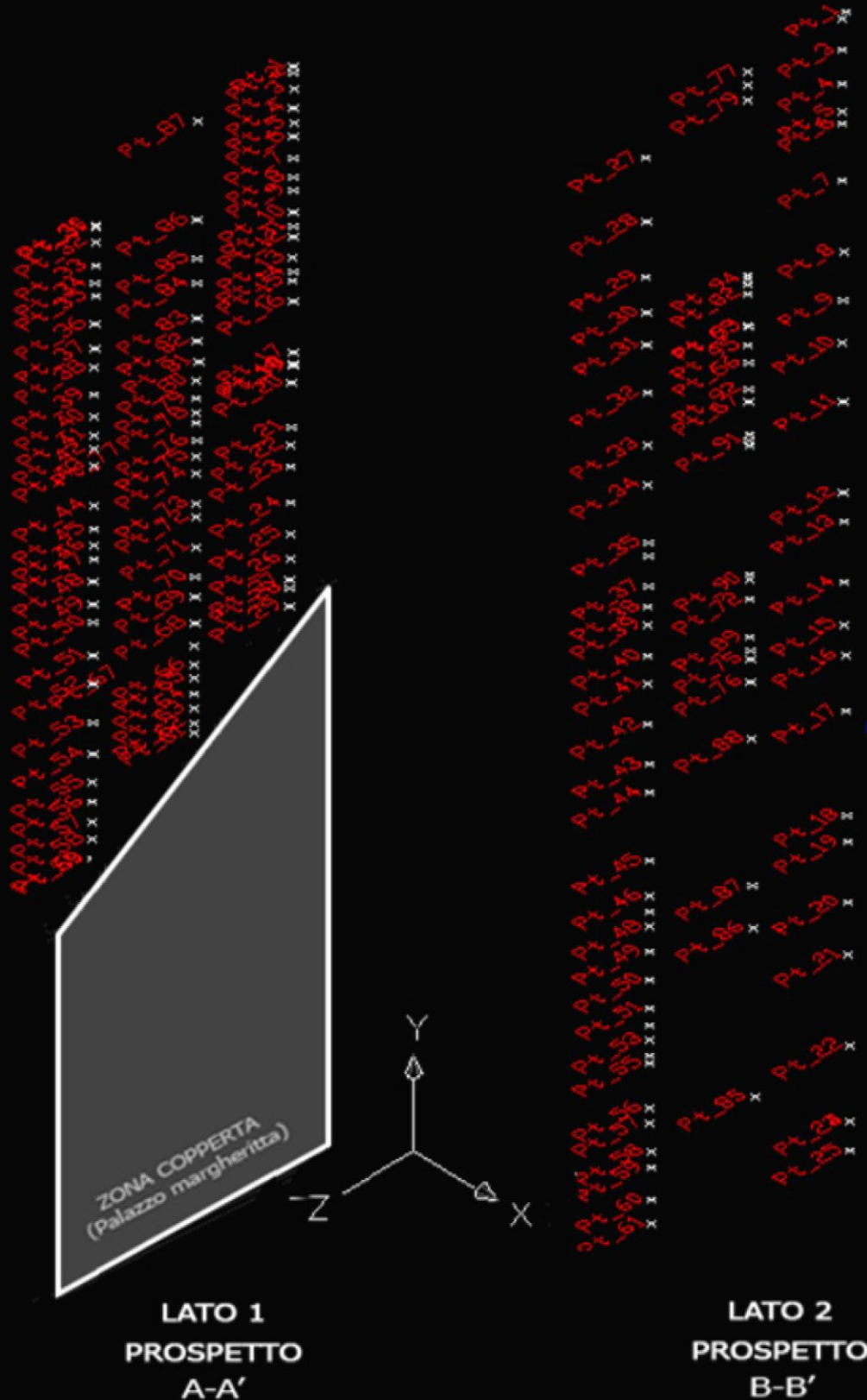
Qualora si rinvenissero in alcuni luoghi preesistenze archeologiche da salvaguardare e valorizzare, la soluzione adottata è configurabile attraverso un intervento composto da cordoli e pavimenti a vetro.

I particolari esecutivi della risoluzione tecnica proposta relativi all'intervento del fabbricato sono mostrati negli elaborati grafici delle tavole allegate.

<p><b><u>TORRE di PALAZZO MARGHERITTA</u></b></p> <p><b>CENTRO STORICO AQUILANO</b></p>	
<b>Descrizione:</b>	Analisi della verticalità della torre del palazzo Margherita situato in Piazza Palazzo, nel centro storico Aquilano.
<b>Strumentazione e sistema di riferimento</b>	Lo strumento utilizzato è stato una stazione totale TS30 che permette misure di angoli e distanze con precisioni di 0.5"gon e 0.5mm rispettivamente. L'orientamento dello strumento è stato effettuato con il metodo "set Azimut" annullando l'angolo azimutale in corrispondenza di un punto materializzato localmente per il rilievo delle due facciate della torre.
<b>Metodologia</b>	Per questo tipo di rilievo tre serie di punti disposti verticalmente sulla facciata della torre sono stati rilevati, mantenendo costante l'angolo azimutale per garantire la loro assoluta verticalità. A livello di elaborazione si è studiata la distanza tra ogni punto e il piano verticale che rappresenta la superficie della torre.
<b>Caratteristiche del progetto</b>	La tipologia del palazzo Margherita ha permesso il rilievo su due delle quattro facciate, la prima chiamata <b>lato 1</b> è la facciata verso nord che costeggia via Roma, mentre la seconda facciata rilevabile si trova in direzione est verso piazza Palazzo chiamata <b>lato 2</b> . La visuale molto inclinata da via Burri non ha permesso il rilievo dei lati sud e ovest della struttura.
<b>Altre informazioni</b>	Il rilievo è stato effettuato il 1° agosto 2011 dalle ore 10.30 alle ore 15.00 con ottime condizioni meteorologiche. I valori atmosferici erano: Temp: 36.5C PrA:1016.4hPa Hmd:68%. Dati: stazione CETEMPS L'Aquila  Il rilievo è stato terminato almeno due ore prima dell'evento di pioggia che si è verificato alle 16:50 il quale non ha influito in alcun modo sulle misure.



# I PUNTI RILEVATI SULLE DUE FACCIATE



## DEVIAZIONE DEI PUNTI DALLA VERTICALE - LATO 1 -





## DEVIAZIONE DEI PUNTI DALLA VERTICALE - LATO 2 -



## **CONCLUSIONI**

Dai dati analizzati si conclude che non esiste alcuna regione sulla torre che manifesta scostamenti dei punti dalla verticale al di sopra dei dieci millimetri. Dove si è verificata una notevole deviazione dei punti dalla verticale si è dimostrato che era solo un fenomeno estremamente locale dovuto alle caratteristiche architettoniche dell'edificio come per esempio i bordi in pietra, la zona dell'orologio o punti appartenenti alle strutture di sostegno che quindi non fanno parte della struttura.

Operando un'analisi statistica si è visto che la deviazione media di tutti i punti dalla verticale è al di sotto dei sette millimetri ma con distribuzioni che assolutamente non manifestano alcun segno della non verticalità della torre.

**Dopo le indagini eseguite si verifica la verticalità della torre del palazzo Margherita.**

### **GEOMATICA LAB**

Laboratorio di topografia e Geomatica

Dipartimento di Architettura e Urbanistica

Responsabile Scientifico: Prof.ssa Donatella Dominici