

## PREMESSA

Il caso trattato è relativo ad un progetto di consolidamento di un edificio residenziale sito nel comune di Giulianova (TE), in funzione del dissesto palesato riconducibile anche a cedimenti delle fondazioni.



Figura 1: vista d'insieme

Tale edificio sviluppa su due livelli fuori terra, con struttura portante costituita da muratura di pietrame e mattoni pieni, mentre gli orizzontamenti sono costituiti da volte a padiglione.

L'apparato fondale è costituito da una fondazione nastriforme di larghezza pari al muro sovrastante e profondità di 48 centimetri.

Poiché l'intervento è parziale, limitatamente ai setti murari interessati da un evidente quadro fessurativo, si ritiene

sia necessario tenere in debita considerazione il possibile trasferimento degli stati di coazione alle strutture non consolidate a seguito di un riequilibrio della struttura in condizioni post-intervento. Pertanto si consiglia di monitorare le porzioni di edificio non consolidate per un tempo ragionevolmente lungo.

Per un corretto dimensionamento strutturale dell'intervento, mediante micropali, sono stati utilizzati gli elaborati di diversi interventi analoghi eseguiti nei pressi del sito, che hanno evidenziato la presenza di terreni a granulometria prevalentemente limosa.

## ANALISI DEL QUADRO FESSURATIVO

Le problematiche attinenti l'edificio in questione possono essere ricondotte ad un evidente cedimento fondale che ha interessato prevalentemente l'angolo sud-est.

Le lesioni riscontrate risultano di fatti concentrate presso tale settore strutturale, chiaramente legate allo sviluppo di sollecitazioni composte da flessione + taglio le quali, nell'ambito dello studio dei quadri isostatici, comportano lo



Figura 2: lesioni per rottura da taglio verticale agli appoggi degli architravi ad arco.

sviluppo di azioni di trazione; in tal senso le lesioni rilevate possono essere considerate come giunti atti allo scopo di liberare l'energia di deformazione dei solidi. Alcune delle lesioni hanno, talora, subito una chiara rifrazione in funzione della presenza di aperture che costituiscono elementi di debolezza strutturale.

I setti murari convergenti presso lo spigolo in questione inoltre sono stati interessati da una modesta fase di inflessione che ha comportato lo sviluppo di lesioni sulle restanti porzioni; i setti ad essi ortogonali infine hanno agito come controventi, risultando di fatto moderatamente lesionali per azione di riflesso.

Infine sono state rilevate ulteriori lesioni che hanno interessato le porzioni di setto murario compreso tra aperture corrispondenti verticalmente,

dipendenti da rottura per taglio verticale agli appoggi degli architravi ad arco a sesto ribassato, mentre altre problematiche dipendono dall'azione di carichi concentrati.

### RELAZIONE DI CALCOLO

Per una migliore comprensione delle problematiche descritte è stata eseguita una iniziale analisi dei carichi, con lo scopo di comprendere l'attuale funzionamento dell'insieme terreno-fondazioni-struttura. Ciò ha richiesto anche la simulazione della copertura come una trave dotata di cerniera e carrello, al fine di pervenire alla determinazione delle reazioni vincolari che, nell'innesto muratura perimetrale - copertura, possiede componenti sia

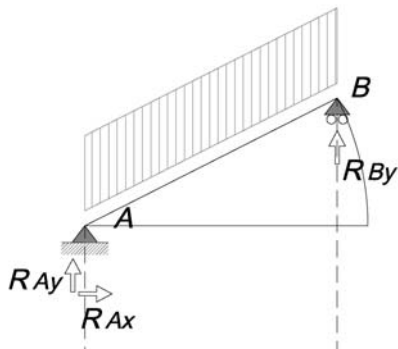
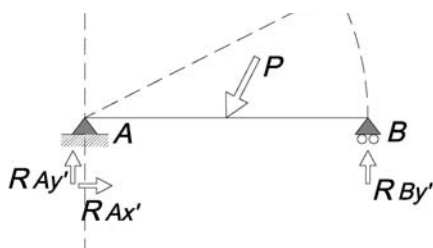


Figura 3: esempio di schema statico della copertura, estratto dal libro "LESIONI DEGLI EDIFICI"



verticali e sia orizzontali.

I risultati di detta analisi hanno mostrato come proprio presso lo spigolo sud-est la fondazione dissipa nei terreni tensioni con andamento trapezoidale, con valori di  $\sigma_{\max} = 252 \text{ kPa}$  e  $\sigma_{\min} = 75 \text{ kPa}$ , avvalorando l'ipotesi di dissesto avanzata in relazione all'analisi del solo quadro fessurativo. In altre parole, il dissesto deve essere inteso come dipendente dall'interazione terreno - struttura, così come rilevato anche da testimonianze dei precedenti proprietari secondo le quali le lesioni sono comparse nelle prime fasi di entrata in esercizio dell'edificio. Non ultimo, le stesse sono aumentate in funzione dell'invecchiamento naturale dei materiali da costruzione, come rilevato ad esempio dalla rottura degli architravi.

Tanto considerato, il progetto di consolidamento prevede l'esecuzione di opere speciali di sottofondazione tipo micropali, con lo scopo di realizzare un vincolo solido con le fondazioni e di trasferire i carichi in profondità.

Le modalità di progettazione e calcolo sono state due fasi preliminari:

1. determinazione della tensione ammissibile dei terreni di fondazione (calcolo eseguito nel 2006 secondo il DM 11.03.1988), risultata pari a 185 kPa;
2. calcolo della aliquota dei carichi attribuibile alla fondazione e scaturita dai risultati dell'analisi dei carichi: 73%;
3. determinazione dell'aliquota dei carichi da trasferire ai micropali (27%) e il relativo valore ( $\approx 54$  kN/ml di muratura).

Al fine di valutare la validità progettuale è stata successivamente eseguita una analisi parametrica della capacità portante dei micropali, rappresentata in forma matriciale in funzione del diametro di perforazione e della profondità di ammorsamento. Sulla scorta di tale pre-dimensionamento geotecnico sono stati scelti micropali con la seguente geometria:



Figura 3: lesioni per azione di carico concentrato.

a) foro del diametro di 150 mm;

b) armatura con tubo metallico (Fe430) valvolato con valvole di non ritorno, con diametro esterno di 76.1 mm e spessore di 6.3 millimetri.

Il tubo metallico racchiuderà un cilindro di malta di iniezione a bassa pressione ( $< 3$  atm) e sarà a sua volta racchiuso da una corona cilindrica coassiale al tubo stesso, della medesima malta, che in tale posizione definirà l'interfaccia con il terreno.

Le modalità di messa in opera di un micropalo dovranno essere le seguenti:

- perforazione eseguita con idonee attrezzature dotate di una batteria di aste (batteria di perforazione) con la quale saranno eseguiti i fori sino alla profondità di progetto;
- posa in opera dell'armatura metallica, costituita da un tubo metallico, a

Figura 4: lesioni per insufficiente resistenza del nuovo arco.



fine perforazione;

- iniezione del micropalo attraverso il tubo metallico di armatura facendo fuoriuscire la miscela cementizia dal by-pass costituito da una coppia di fori disposti ogni 200 cm a partire da una distanza di 50 cm fondo del micropalo stesso. In alternativa può essere eseguita una iniezione a media pressione additivando la

malta cementizia con espandite, in relazione alle problematiche che eventualmente potranno emergere in fase esecutiva.

Per lo sviluppo del calcolo di portanza a trazione/compressione del singolo micropalo, sono state eseguite le 4 le analisi fondamentali:

- 1) instabilità all'equilibrio elastico;
- 2) resistenza della sezione;
- 3) portanza
- 4) resistenza dell'ancoraggio alla struttura supportata.

Tali calcoli richiedono l'assunzione implicita di alcuni vincoli al fine della determinazione dei parametri di cui al paragrafo precedente:

- a) sono stati valutati inizialmente i parametri geomeccanici dei terreni di fondazione scaturiti da prove sui terreni di fondazione;
- b) è stato imposto un legame costitutivo sforzi-deformazione del tipo elastico-non-lineare;
- c) il calcolo del coefficiente di Winkler, che descrive le proprietà elastiche dei terreni, ha tenuto conto della compatibilità tra la pressione di contatto in corrispondenza della superficie del micropalo ed il relativo spostamento;
- d) è stato tenuto conto nella valutazione della plasticizzazione del cavo anche l'effetto del disturbo del terreno dovuto alla perforazione ed alla iniezione a pressione;
- e) il coefficiente di maggiorazione del diametro di perforazione è stato valutato tramite apposite tabelle in funzione delle caratteristiche granulometriche e geomeccaniche dei terreni di fondazione;
- f) il coefficiente di adesione acciaio-calcestruzzo è funzione di aderenza migliorata;
- g) è stato completamente trascurato il contributo della punta alla portanza al fine di dimensionare la lunghezza del micropalo tale da



assorbire totalmente i carichi trasmessi dalle sovrastrutture ed impedire fenomeni di punzonamento dei terreni di fondazione.

Ciò premesso, l'analisi della fondazione a micropali è stata svolta secondo la seguente composizione:

- I. analisi parametrica relativa alla capacità portante di un singolo micropalo, tenuto conto dei contributi dei diversi terreni attraversati e per diversi diametri operativi al fine di valutare la migliore proposta in termini di costi-benefici;
- II. valutazione del coefficiente di sicurezza nei confronti dell'instabilità euleriana:  $F_{S_{min}} = 24.06 > 15$  (valore minimo consigliato);
- III. valutazione del coefficiente di sicurezza nei confronti della sezione reagente, calcolato sia per l'insieme acciaio + malta che per il solo acciaio, considerando quindi anche l'ipotesi di scollamento tubo-alone esterno; nel primo caso  $F_s = 5.5$ , con tensioni nel cls di 3.3 MPa e nell'acciaio di 2.9 MPa; nel secondo caso  $F_s = 4.1$ , con tensioni nell'acciaio di 3.9 MPa;
- IV. infine è stato verificato l'ancoraggio nodale alla struttura fondale esistente, che ha portata al calcolo di una lunghezza minima di ammorsamento di 9.5 centimetri.

Il lavoro di consolidamento fondale sarà quindi completato con l'esecuzione di una trave di fondazione con la funzione di connessione strutturale tra le teste dei micropali e la fondazione esistenti. Le dimensioni previste sono di 50 × 60 cm, armata con (3+3)  $\phi 16$  e staffe  $\phi 10$  ogni 50 centimetri. La connessione sarà garantita da monconi  $\phi 16$ , come da disegni esecutivi.



Occorre infine precisare che il lavoro dovrà essere seguito anche da lavori di risarcitura delle lesioni, previo consolidamento degli elementi strutturali evidenziati (architravi, archi, ecc.).

Per una corretta valutazione dei calcoli si faccia riferimento ai tabulati in allegato ed alla figura in pagina.

Si allegano:

- analisi parametrica della capacità portante della fondazione
- analisi dei carichi
- pre-dimensionamento geotecnico dei micropali
- verifica geotecnica e flessionale dei micropali
- verifica delle tensioni dei micropali
- verifica dell'ancoraggio nodale micropali - fondazione esistente
- disegni esecutivi dell'intervento

Progettazione:

**GEO&GEO Instruments® - research & development**

Geol. **Romolo Di Francesco** (Amministratore Unico) ... ..

Ing. **Mauro Rastelli** (Direttore Tecnico) ... ..

Ing. **Andrea Di Mattia** (Responsabile Strutture) ... ..

Geol. **Fernando Di Pierdomenico** (Responsabile Geologia) ... ..

([www.geoandgeo.com](http://www.geoandgeo.com))

Esecuzione ed indagini:

**SONDA-CEMENTI sas**

Geol. **Adriana Cavaglià** ... ..

([www.sondacementi.com](http://www.sondacementi.com))