



BREVETTO EUROPEO n. 0.851.064

UNI EN ISO 9001:2000 Certificato di Sistema di Gestione Qualità TÜV nr. 50 100 7969



Edifici Storici
.....
Case Historie

TORRE CIVICA CITTA' DI CASTELLO

PERUGIA - Italia - 2007

L'EDIFICIO

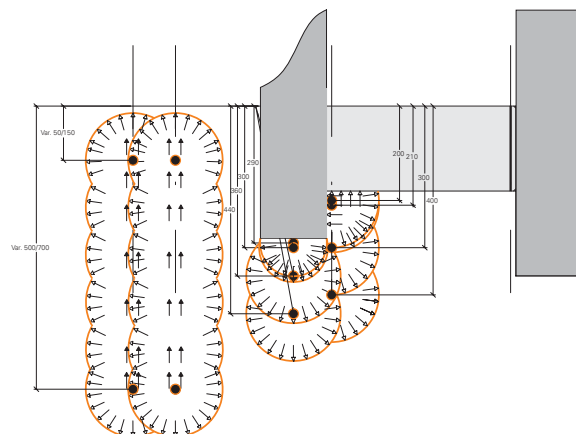
Costruita nel XIII secolo per scopi militari, la torre si presenta con un'altezza di circa 40 m. ed una pianta rettangolare di 6,10 x 6,80 m. L'aspetto attuale è il risultato di successivi collassi e ristrutturazioni intervenuti nel corso degli anni, come si deduce dalle differenti tessiture murarie.

IL PROBLEMA

Nel mese di marzo 2007, in seguito ad un sisma ed a variazioni della falda, la pendenza della torre verso la piazza antistante aumenta, portando lo spostamento orizzontale da 72 a 78 cm. Lo stato deformativo, già prossimo al limite, peggiora ulteriormente.

LA SOLUZIONE

Tecnologia Urettek Deep Injections® con iniezione di resina Geoplus®, sotto circa metà della superficie d'appoggio della torre fino ad una profondità di 4,5 metri dal piano d'imposta della fondazione. L'incremento minimo della portanza del terreno è stato del 30%. Già dopo un mese dalla fine dei lavori, il monitoraggio ha rilevato un'evidente smorzamento della velocità di abbassamento del manufatto che, a tutt'oggi, risulta completamente stabilizzato. L'intervento ha richiesto, complessivamente, 14 giorni lavorativi.



L'INIEZIONE È AVVENUTA SU PIÙ LIVELLI DI PROFONDITÀ, A VOLTE CON LA MODALITÀ "A COLONNA", SFILANDO IL TUBO D'INIEZIONE DURANTE L'EROGAZIONE DELLA RESINA



FASI
INTERVENTO

URETEK® DEEP INJECTIONS

per la stabilizzazione dei terreni di fondazione

I PUNTI DI FORZA:

- Non invasivo, senza scavi o lavori in muratura;
- Rapido ed immediatamente efficace;
- Non sporca e non produce scarti;
- Permette interventi parziali e localizzati;
- Monitorato con livello laser in tempo reale.

La resina URETEK GEOPLUS®

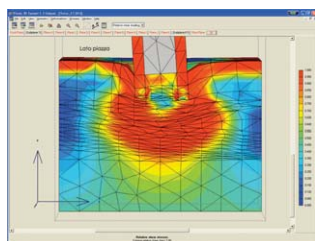
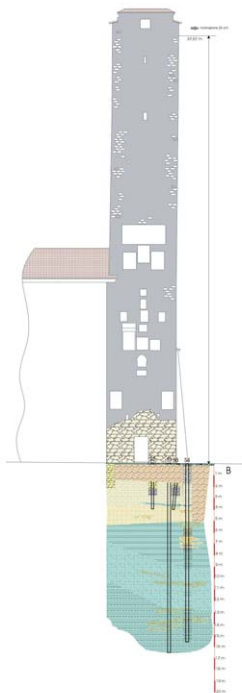
- Espande rapidamente con alta pressione di rigonfiamento;
- Rimane confinata nel volume significativo;
- Stabile nel tempo;
- Eco-compatibile: non inquina;
- Prodotta in esclusiva per Urettek.



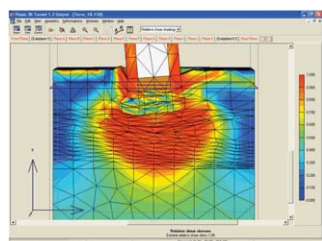
IL PROGETTO NEL DETTAGLIO

L'INTERVENTO

La rotazione della torre era imputabile, oltre alla locale eterogeneità della stratigrafia (peggiolata dagli strati apportati dall'antica urbanizzazione), ai differenti livelli cui si trovano i piani d'imposta della fondazione: più alti verso la piazza Gabriotti ed il vicolo S. Stefano (-2,3 m) e più approfonditi sui rimanenti lati confinanti con il Vescovado (-3,6 m). A livelli d'imposta più superficiali corrispondevano strati di terreno più deformabili che causavano un maggiore cedimento. La direzione dell'inclinazione, infatti, risultava rivolta verso la piazza ed il vicolo. Lo stato tensionale all'interfaccia fondazione/terreno, aveva raggiunto il massimo valore al di sotto del nastro di fondazione affacciato sulla piazza, proprio dove il cedimento era più cospicuo. La quota della falda, rilevata a -10 m di profondità, non interagiva con le dinamiche di spostamento della torre, ma si erano osservati, in vari punti, delle perdite d'acqua da condotte sotterranee.



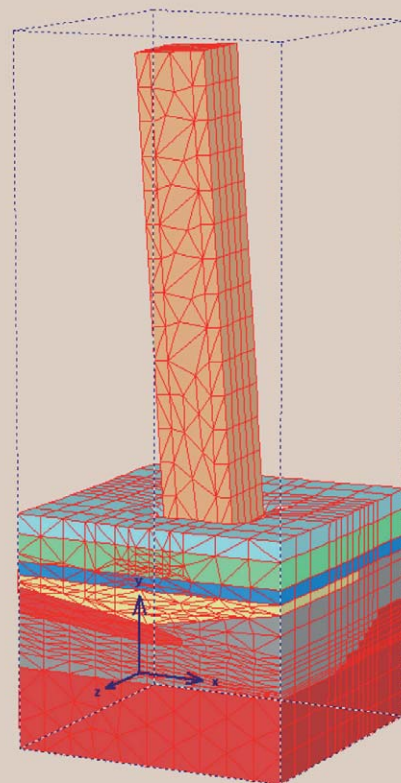
PRIMA DELL'INTERVENTO



DOPO L'INTERVENTO

L'analisi tensionale agli elementi finiti (FEM), evidenziata dalla figura soprastante, aveva messo in evidenza che, laddove i cedimenti erano più elevati, lo stato tensionale tangenziale era prossimo a quello del criterio di rottura di Mohr-Coulomb, con l'instaurarsi di condizioni di equilibrio plastico.

Il progetto esecutivo d'intervento è stato oggetto di numerosi cambiamenti in relazione al comportamento della torre durante le varie fasi d'iniezione. L'analisi FEM aveva previsto un rifluimento laterale del terreno ed un incremento di tensione efficace, imputabili all'espansione volumetrica della resina nella regione trattata.



ANALISI FEM 3D:
realizzata dalla Studio Montaldo & Associati, Genova, Italy



Entrambi gli effetti si sono verificati in corso d'opera con una buona corrispondenza rispetto alle previsioni teoriche.

Una livellazione di precisione, iniziata in data 25/03/2007, impostata su tre capisaldi della torre, ha permesso di rilevare i cedimenti della struttura prima, durante e dopo l'intervento. Si sono installati anche tre inclinometri, lungo l'altezza della torre, con un grado di precisione di 10^{-3} gradi e due fessurimetri elettronici con precisione di 10^{-2} mm in accoppiata con un termometro, per capire l'incidenza della temperatura sull'apertura e chiusura di alcune fessurazioni.



Software utilizzati per la modellazione

- codice di calcolo agli elementi finiti 3D
- software di calcolo URETEK S.I.M.S. 1.0

