

TORRE CIVICA CITTÀ DI CASTELLO



Stato di fatto	2
Monitoraggio	3
Relazione geologica e geotecnica	3
Parametri geotecnici	3
Prospezioni G.P.R.	4
Relazione di calcolo	5
Intervento di consolidamento	5
Calcolo del miglioramento delle caratteristiche del terreno con software dedicato	
Uretek	5
Analisi tridimensionale con codice di calcolo agli elementi finiti	8
Progetto esecutivo	9
Iniezioni	10
Andamento dei cedimenti	11
Coefficiente di sicurezza	12
Verifiche post intervento	12
Indagini geoelettriche	12
Prove penetrometriche	14
Livellazione di precisione	16
Conclusioni	20

Stato di fatto

Riferimento:

- *Relazione tecnica illustrativa a cura di Ce.Se.T. s.r.l. del Marzo 2007*
- *Relazione geologica e geotecnica a cura del dott. geol. Filippo Rondoni*
- *Relazione di calcolo a cura di Umbria Progetti Engineering*
- *Calcolo con software Urettek a cura dell'ufficio tecnico Urettek*
- *Analisi FEM 3D a cura dello Studio Montaldo & Associati*

La torre, nata per assolvere militari, è databile intorno al XIII secolo ed è l'unica struttura snella conservatasi all'interno del centro storico di Città di Castello assieme al Campanile Rotondo, ma quella che ci appare oggi, è però il risultato di alterazioni, crolli e ricostruzioni che si sono succedute nel corso del tempo; ciò è deducibile osservando dall'esterno le diverse tessiture murarie che si alternano lungo tutta l'altezza.

La struttura ha una base di forma rettangolare con lati rispettivamente di 6,10 e 6,80 m ed altezza massima sul prospetto principale di 39,80 m; la torre è suddivisa internamente in sette livelli, nei primi quattro dei quali sono presenti piccoli ambienti adibiti in epoche successive a prigione.

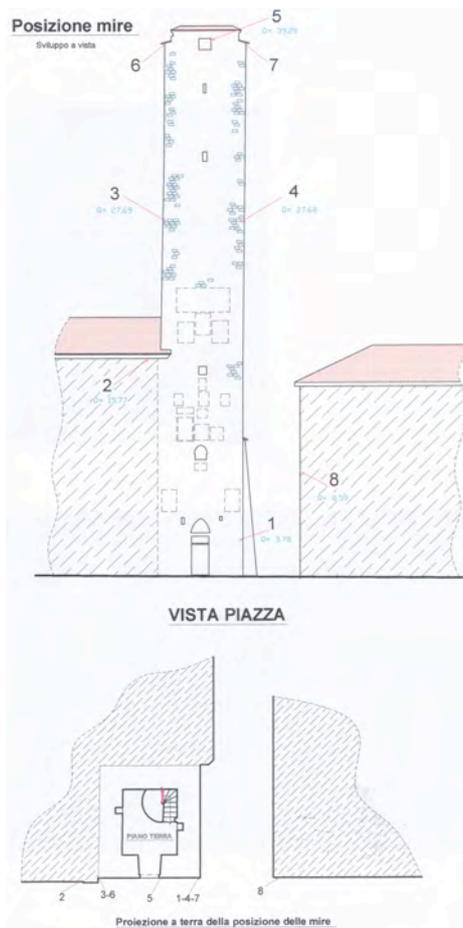
Il prospetto principale della torre è quello rivolto a Sud, con affaccio su Piazza Gabriotti, la facciata del quale è ricca di stemmi in lastre di pietra apposti in varie epoche ed ora gravemente deteriorati ed oggetto di restauro. Questo lato assieme a quello rivolto verso Est, rappresentano le uniche due pareti della torre completamente libere lungo tutta l'altezza. Il manufatto, assume infatti una posizione d'angolo rispetto all'edificio del Vescovado, al quale risulta strettamente connesso ed addossato per due livelli alle pareti rivolte a Nord ed Ovest.

Durante i lavori di consolidamento è stato realizzato un doppio giunto sismico, in corrispondenza delle due pareti in comune tra la Torre ed il Vescovado, che separa le due strutture fino ad un'altezza di circa 5-6 m da terra.

Da un'analisi visiva interna si può risalire alle modifiche ed alle trasformazioni subite dagli elementi originari come, ad esempio, il taglio delle volte operato per consentire il passaggio delle scale interne; la scala a chiocciola presente sulla porzione bassa della torre, è stata aggiunta in epoche recenti come è deducibile dal fatto che le pareti curve del vano scala sono state appoggiate alle pareti verticali sopra alcuni strati d'intonaco.

In data 8 Marzo 2007 e quindi successivamente all'evento sismico registrato alle ore 20 e 35 del 5 Marzo (*magnitudo di 2,2° della scala Richter*), si è potuto constatare che, nel giunto appositamente creato tra l'edificio della Torre Civica ed il Palazzo Vescovile, era apprezzabile un distacco di circa 3-4 cm tra le due strutture murarie.

Con le misurazioni rilevate mediante i fessurimetri, si è potuto apprezzare che l'effetto del sisma ha generato un cedimento differenziale che ha accentuato il fuori piombo già misurato in precedenza; trattasi di un ulteriore abbassamento dello spigolo posto all'angolo tra la Piazza e Via S. Stefano, che è passato in sommità dai 72 cm preesistenti ai 78 cm misurati nella diagonale risultante.



Monitoraggio

Il ciclo di monitoraggio è iniziato in data 10/03/2007 a seguito del collocamento di otto mire riflettenti sottoposte a controllo.

Lo spostamento in testa rilevato nella misura di zero è stato pari a: 74 cm verso la piazza e 34 cm verso il vicolo.

Durante gli undici giorni successivi, si è registrato un ulteriore aumento del fuori piombo di oltre 8 mm in entrambe le direzioni.

Relazione geologica e geotecnica

Nell'ottobre del 2003 è stata condotta una campagna d'indagini geognostiche comprendente:

- 4 sondaggi
- Prelievo 5 campioni indisturbati
- 5 prove a taglio diretto
- 7 profili GPR (Ground Penetration Radar)

Le indagini hanno rilevato che il piano di appoggio della torre si sviluppa in modo irregolare con profondità d'incastro della fondazione comprese tra 2,3 e 3,6 m dal p.c. , nonché la presenza in superficie di materiali di riporto di spessore variabile da 1,5 a 5,7 m.

È stata incontrata una sequenza di sabbie limose e limi sabbiosi ed, ad una profondità variabile da 10 a 13 m, si ritrovano argille e limi argillosi.

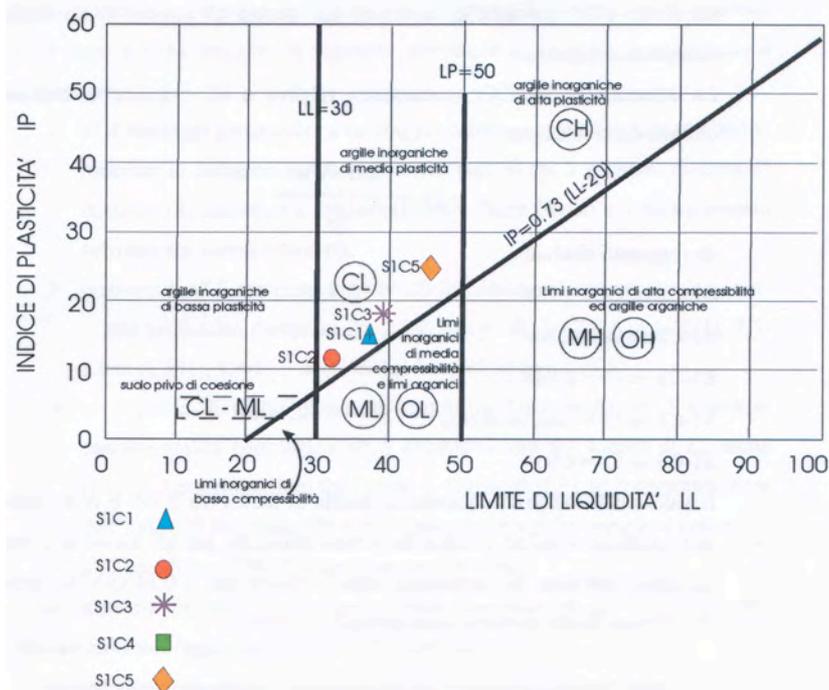
Tali terreni, contraddistinti da una forte eterogeneità granulometrica e geometrica, oltre che geomeccanica, determinano differenti risposte alle sollecitazioni di carico statico e dinamico. Tale diversità è ulteriormente aggravata dalla presenza di terreni di riporto che hanno spessori molto variabili e che sono imputabili all'antica urbanizzazione del centro storico di Città di Castello. La circolazione idrica sotterranea è rinvenibile alla profondità media di 10 m dal p.c. , ma può subire oscillazioni di rilievo anche in relazione all'eterogeneità degli orizzonti sedimentari e di riporto incontrati. Non sono presenti murature o fondazioni riconducibili ad allargamento della muratura sovrastante.

Parametri geotecnici

Il valore dell'indice di consistenza IC oscilla tra 0,738 e 0,950, indicando una consistenza solido plastica dei terreni analizzati.

Le caratteristiche di plasticità fanno rientrare tali terreni nel gruppo delle argille inorganiche con plasticità da bassa a media, argille limose e sabbiose, meno il campione S1C4 che rientra nel gruppo delle sabbie fini limose.

Diagramma di plasticità di Casagrande



Le sabbie si presentano con stati d'addensamento medio-alto mentre i terreni a prevalente composizione argillosa sono contraddistinti dall'aver valori di coesione elevati con valori variabili fra 25 e 30 kPa di C' corrispondenti a moduli d'elasticità E variabili tra 6,0 e 16,7 MPa e quindi coefficienti di compressibilità m_v compresi fra 0,16 e 0,06 m^2/MN .

Dalle prove edometriche è stato possibile calcolare la pressione di preconsolidazione ed il grado di preconsolidazione (OCR); da ciò risulta che i campioni analizzati rientrano nel campo dei terreni da normal-consolidati a parzialmente sovra-consolidati con picco massimo in corrispondenza delle argille trovate alla base dei sondaggi:

$$S1C3 \quad OCR = \sigma'_p / \sigma'_{v0} = (179,95 / 156,91) kPa = 1,147$$

$$S1C4 \quad OCR = \sigma'_p / \sigma'_{v0} = (229,97 / 225,55) kPa = 1,019$$

$$S1C5 \quad OCR = \sigma'_p / \sigma'_{v0} = (499,99 / 304,00) kPa = 1,645$$

Prospezioni G.P.R.

Oltre al programma di indagini dirette precedentemente descritte, è stata impostata una prima campagna di rilievi non distruttivi con G.P.R. (Ground Penetrating Radar) esternamente alla torre. I rilievi con G.P.R. sono stati eseguiti con antenna schermata da 500 Mhz, la prospezione georadar ha evidenziato i seguenti elementi:

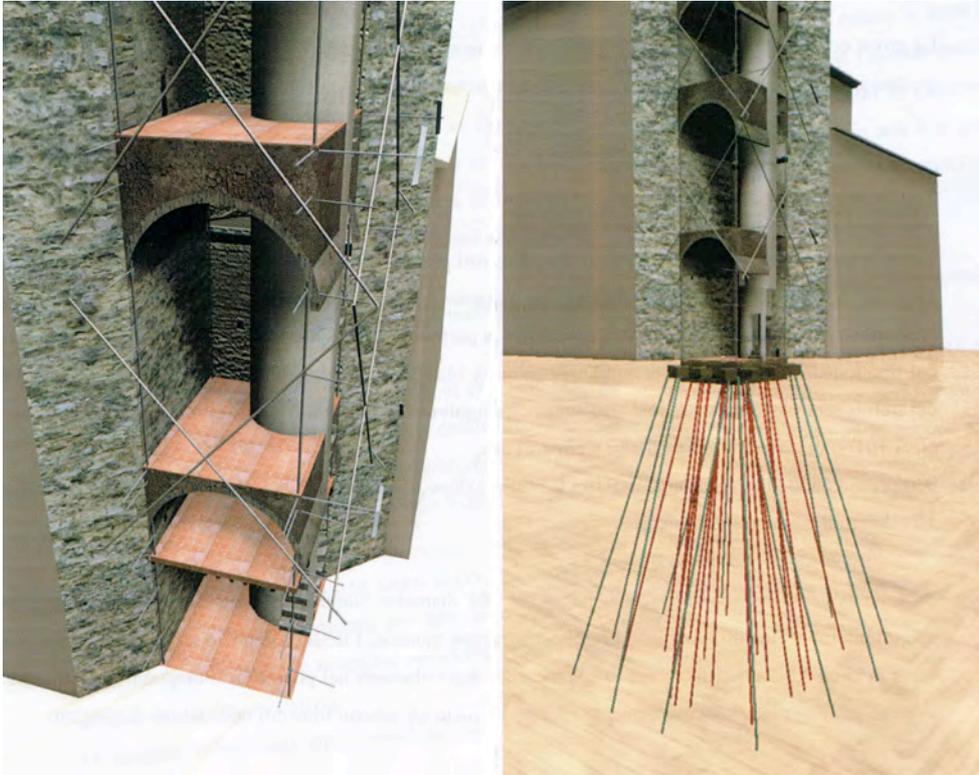
- presenza di riporto e/o terreni rimaneggiati per un modesto intervallo superficiale, al di sotto del pavimento, in tutti i profili eseguiti;
- presenza di alcune anomalie molto superficiali, riferibili a piccoli vuoti e disomogeneità dei terreni più superficiali (tubi d'impianti o piccoli spazi nell'ambito del sottofondo della pavimentazione);

- un paio di sospette anomalie, di difficile interpretazione, che non si esclude possano essere riferite a cavità vuote o riempite.

Relazione di calcolo

Lo studio effettuato per valutare l'efficacia degli interventi per migliorare il comportamento in fase sismica della struttura ha messo in luce che gli interventi realizzati hanno prodotto un miglioramento del comportamento sismico quantificato in un 24% rispetto a prima.

L'introduzione di tiranti permanenti ha diminuito il divario di pressioni agenti sul terreno per effetto del fuori piombo della torre e costituisce un efficace ancoraggio del sistema muratura/barre verticali della torre in caso di sisma.



Intervento di consolidamento

Calcolo del miglioramento delle caratteristiche del terreno con software dedicato Uretek

Utilizzando un metodo di calcolo appositamente sviluppato da Uretek, è stato possibile dimensionare l'intervento di consolidamento Uretek Deep Injections® realizzato con resina espandente ad alta pressione di rigonfiamento Uretek Geoplus®.

Il modello è stato sviluppato a partire dalla teoria dell'espansione di una cavità all'interno di un terreno presentata da Yu H.S. e Hously G.T. nel 1991 abbinata alla curva della pressione di rigonfiamento della resina Uretek Geoplus® in funzione della densità propria.

Quest ultima è stata ricavata ad hoc da test realizzati presso i laboratori dell'Università di Padova.

Il software è stato testato e calibrato su decine di casi reali; utilizzando il modello di calcolo è stato possibile stimare le caratteristiche geomeccaniche del terreno trattato.

URETEK - Input generale

Intestazione: torre civica

Lato minore fondazione (m): 1.4 Pressione fondazione (kPa): 500

Lato maggiore fondazione (m): 6 N° livelli d'iniezione: 7

Profondità fondazione (m): 2.8

<< Indietro Avanti >>

URETEK - Parametri iniezione e terreno

Livello d'iniezione N°: 1 E (kPa): 3000

Tipo di cavità:
1 = cilindrica v: 0.35
2 = sferica

Profondità iniezione da piano campagna (m): 3.5 c_u (kPa): 1

Distanza asse fondaz. verticale di prova (m): 0.5 ϕ (°): 28

Pressione vert. in sito σ_{vo} (kPa): 62 K_0 : 0.47

Se terreno coesivo u (kPa): 0

<< Indietro Avanti >> Salta

URETEK - Ricerca raggio d'influenza

Livello d'iniezione N°

Raggio influenza (m)

Resina/Terreno

r_a (m)	.1922345	Sig_lim (kPa)	1441.8
r_b (m)	.3088414	Sig_r_b (kPa)	782.9
r_c (m)	1.3	Sig_r_c (kPa)	453.1

In corrispondenza della verticale di prova

Sig_cpt (kPa)

cu_new (kPa)

qc_new (kPa)

Vol.res.iniez. (m3)

<<Indietro **Calcola** OK

URETEK - Risultati

Risultati : torre civica

Livello iniez.	Profond. (m)	Pressione limite (kPa)	Res./Terr. zona plast.	Volume influenza (m³)	Vol.res. finale (dm³)	Vol.res. iniezione (dm³)	Vrf/Vri
1	3.50	1441.85	0.30	9.20	57.85	19.19	3.01
2	3.90	1358.38	0.30	9.20	48.01	15.35	3.13
3	4.90	1367.19	0.30	11.49	47.51	15.25	3.12
4	5.90	1199.94	0.30	14.14	54.75	16.20	3.38
5	6.90	1111.47	0.30	15.60	58.20	16.42	3.54
6	7.90	1054.95	0.30	15.60	60.69	16.58	3.66
7	8.90	1017.40	0.30	15.60	61.56	16.44	3.74
Tot. =						115.43	

Livello iniez.	Profond. (m)	Raggio influ. (m)	Raggio cpt (m)	Sig_vo (kPa)	Sig_cpt (kPa)	cu old (kPa)	qc old (kPa)	cu new (kPa)	qc new (kPa)
1	3.50	1.30	0.50	62.0	527.5	1.0	1006.1	0.0	8559.3
2	3.90	1.30	0.50	70.0	430.8	1.0	1850.9	0.0	11391.3
3	4.90	1.40	0.50	88.0	300.8	20.0	1428.0	0.0	4980.6
4	5.90	1.50	0.50	108.0	245.4	20.0	1752.5	0.0	3982.4
5	6.90	1.55	0.50	125.0	216.5	20.0	2028.4	0.0	3519.1
6	7.90	1.55	0.50	145.0	220.9	30.0	1416.0	0.0	2157.1

Stampa Continua

Analisi tridimensionale con codice di calcolo agli elementi finiti

L'analisi è stata realizzata sulla base dell'assetto stratigrafico locale, della geometria precisa della torre (inclinazione di 68 cm in direzione piazza e 25 cm in direzione vicolo) e delle fasi lavorative previste.

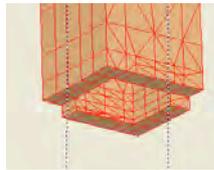
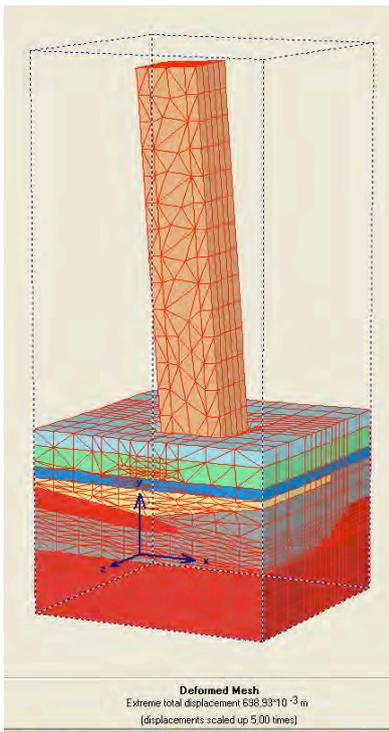
L'analisi della condizione iniziale ha evidenziato che, a prescindere dal complesso assetto stratigrafico locale, contraddistinto dalla presenza di lenti di materiale sovraconsolidato entro materiali decisamente più deformabili, il differente affondamento delle esistenti fondazioni è stato un fattore determinante per il cinematismo riscontrato.

A fondazioni più alte corrisponde, infatti, una maggiore potenza di terreno deformabile e, conseguentemente, si mobilita un cedimento differenziale che ha come risultato lo sviluppo di un fuori piombo; lo stato dei luoghi mostra appunto che la direzione del fuori piombo è rivolta ove le fondazioni della torre sono poste a quota superiore.

La figura a destra mostra il differente affondamento delle fondazioni del corpo torre; esse sono poste ad una quota superiore verso il lato della piazza ($x < 0$) e verso il lato del vicolo ($z > 0$) come riscontrato dai saggi eseguiti.

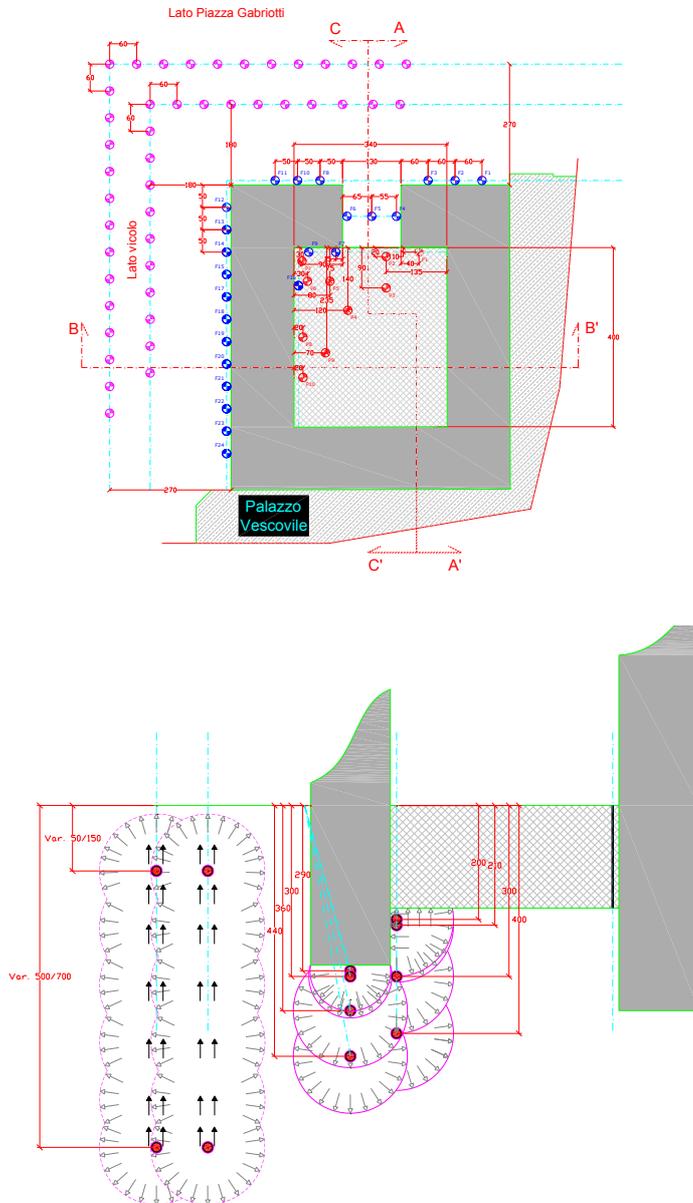
È stato analizzato il comportamento tensio-deformativo della torre in tutte le fasi d'iniezione proposte, simulando l'immissione del quantitativo di resina iniettata tramite l'espansione dell'elemento di terreno posto al livello esatto (x , y e z) del punto d'iniezione.

Il valore del coefficiente d'espansione volumetrica da assegnare ad ogni elemento è stato determinato con riferimento ai quantitativi di volume di resina da iniettarsi per ogni punto.



Progetto esecutivo

Sulla base delle indicazioni fornite dall'analisi agli elementi finiti è stato compilato un progetto esecutivo che in base alla risposta della struttura alle iniezioni è stato continuamente modificato.



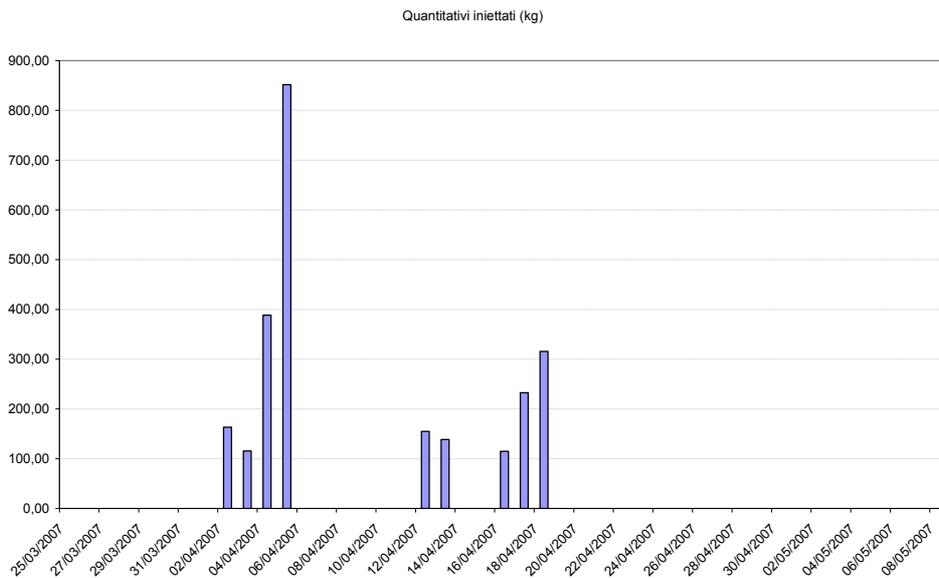
Iniezioni

Durante un totale di 14 giorni lavorativi, la resina è stata iniettata in quantitativi molto variabili in funzione della risposta della torre.

Il totale dei 2475,50 kg di resina sono stati iniettati secondo la sequenza di seguito riportata.

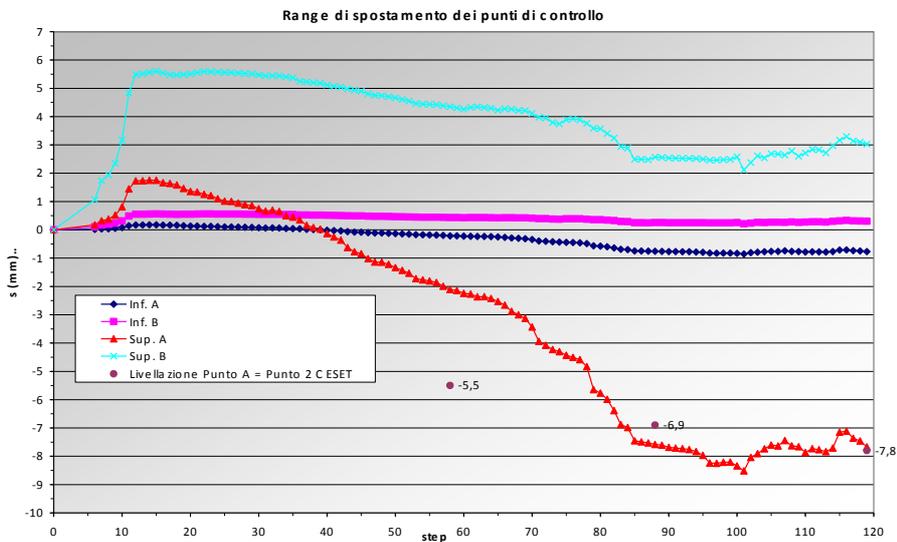
DATA	Quantitativi iniettati (kg)	Note
02/04/07	163,25	campo prova
03/04/07	115,50	colonne esterne
04/04/07	388,50	colonne esterne
05/04/07	851,75	colonne esterne
06/04/07		
07/04/07		
08/04/07		
09/04/07		
10/04/07		
11/04/07		
12/04/07	155,00	5 iniezioni sottofaccia platea interna + 10 iniezioni sottofaccia fondazione
13/04/07	138,50	13 iniezioni sottofaccia fondazione
14/04/07		
15/04/07		
16/04/07	114,75	12 iniezioni di 3° livello sotto fondazione
17/04/07	232,75	5 iniezioni di 3° livello + 8 iniezioni di 2° livello
18/04/07	315,50	13 iniezioni di 2° livello + 4 colonne lato vicolo

TOTALE 2475,50



Andamento dei cedimenti

L'andamento stimato dei cedimenti sovrapposto al reale campo di cedimento rilevato in cantiere, valutato al termine della fase iniettiva, mostra come gli errori commessi si discostano poco da quanto rilevato.

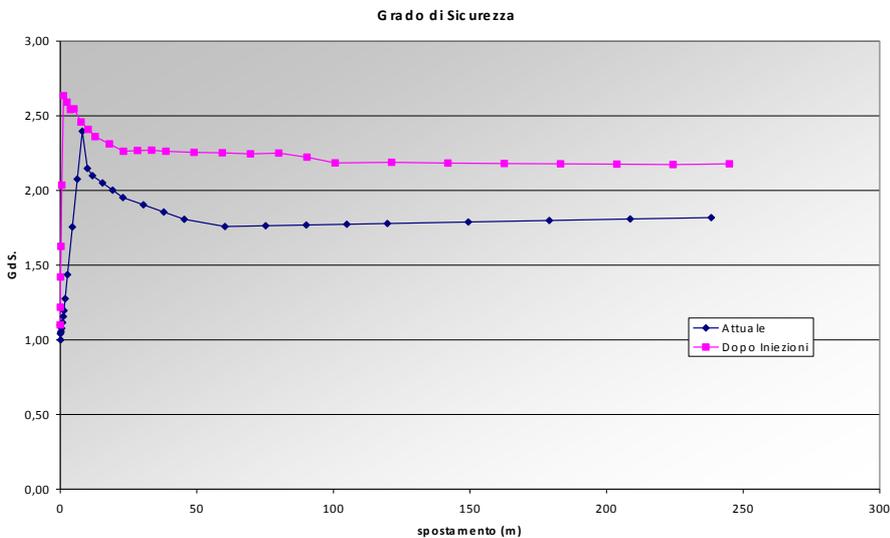


Si osserva come ci si attendano modesti cedimenti e rotazioni imputabili ad un duplice effetto:

1. un rifluimento laterale del terreno a seguito dell'immissione della resina e della sua successiva espansione;
2. una risposta deformativa del terreno sottostante l'iniezione dovuta al modesto incremento di tensione efficace causato dall'espansione della resina.

Coefficiente di sicurezza

La comparazione fra il coefficiente di sicurezza ante e post intervento, evidenzia che le iniezioni hanno avuto l'effetto di incrementarne il valore in un range compreso fra il 10% (picco) ed il 30% residuo.



Verifiche post intervento

Alberto 11.7.2008 18:57

Kommentar [1]: er

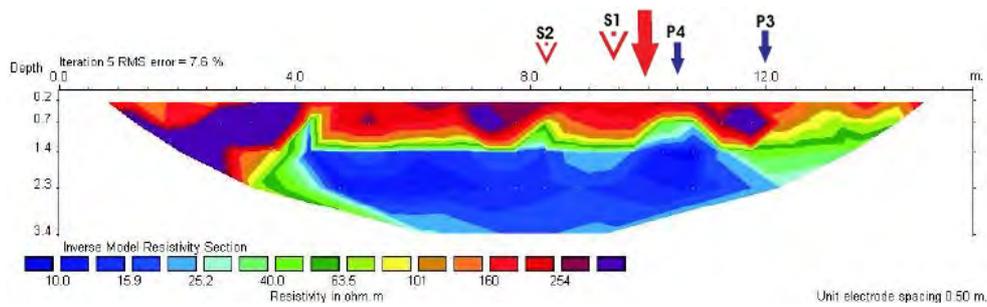
Indagini geoelettriche

Le prospezioni geofisiche, effettuate tramite profili topografici elettrici, sono state rivolte alla caratterizzazione elettrostratigrafica dei terreni, prima dell'inizio dell'intervento d'iniezione, e alla verifica del livello di propagazione delle resine, in due fasi successive intermedie, sfruttando il comportamento elettrico differenziabile dei materiali.

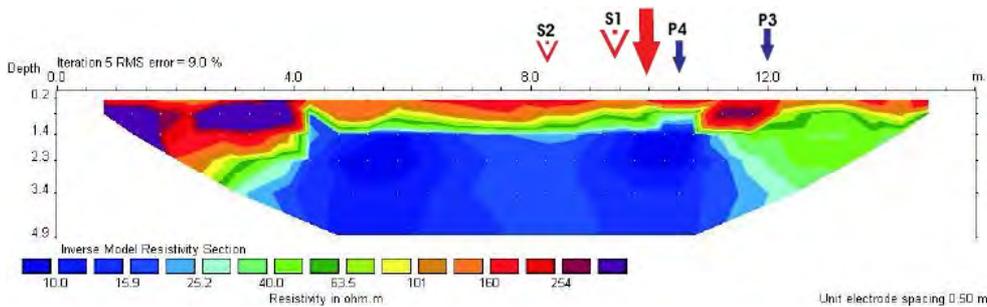
La grandezza fisica misurata è la resistività elettrica apparente del sottosuolo, rappresentativa della densità di corrente che attraversa il terreno. I terreni più conduttori (argillosi, umidi) tenderanno a disperdere la corrente e saranno rappresentati da valori di resistività medio bassi, mentre nei terreni cattivi conduttori (rocce a basso contenuto argilloso, ghiaie, sabbie, asciutti) i valori di resistività saranno nettamente più alti.

Sono stati eseguiti complessivamente tre serie di quattro profili multielettrodici.

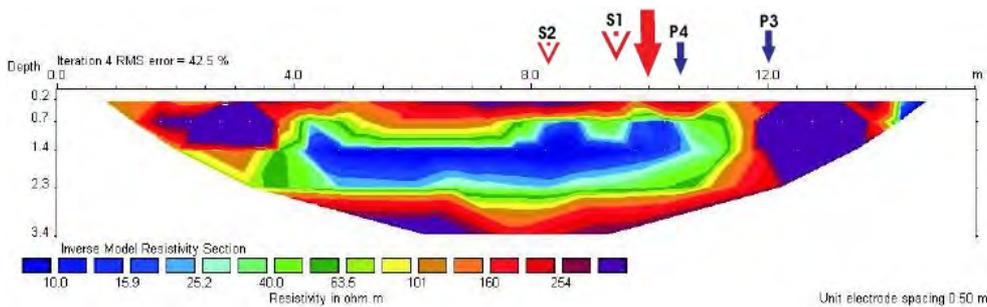
La ricostruzione elettrostratigrafica, prima dell'inizio dei lavori d'iniezione, ha mostrato la presenza di un complesso elettrico superficiale, a resistività medio alta, persistente nei primi 1,5 m, seguito da un complesso a resistività bassa persistente sino alla massima profondità raggiunta.



Le sezioni ottenute dopo la prima fase d'iniezioni di resine, eseguite ad una distanza di circa 2,0 m dalla torre a partire da una profondità di 5,0 m, non ha portato a nessuna variazione apprezzabile della resistività elettrica.

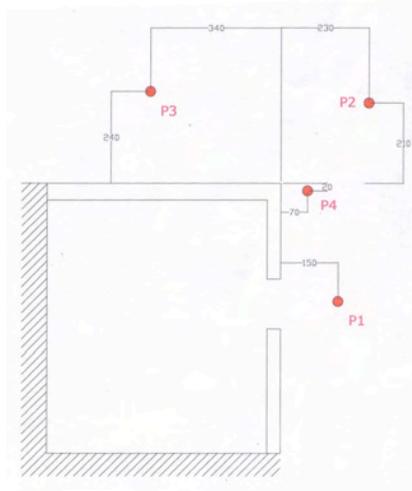


Le misure eseguite al termine della seconda fase d'iniezioni hanno mostrato un discreto aumento percentuale dei valori di resistività apparente. Tale comportamento appare compatibile con l'espansione nel sottosuolo delle resine iniettate.

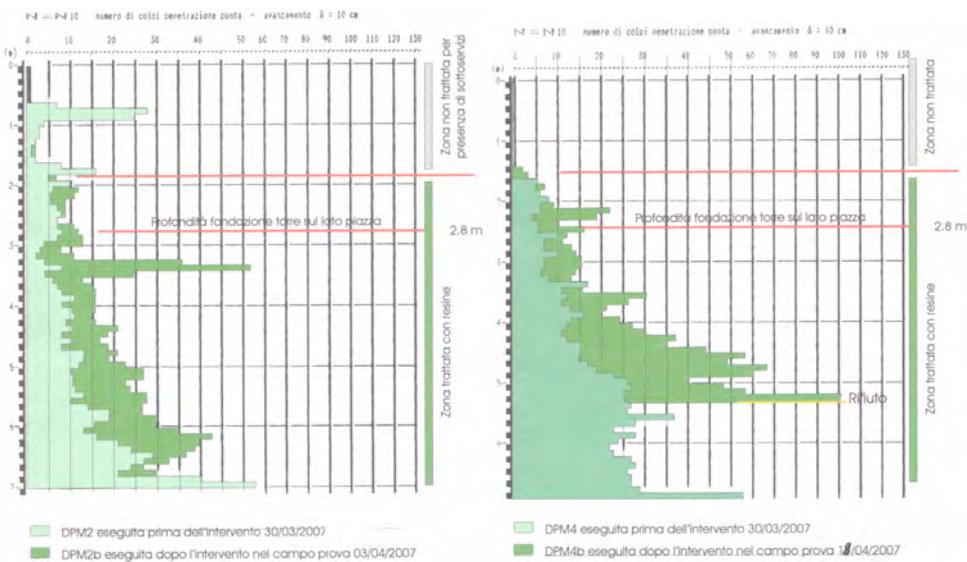


Prove penetrometriche

Le prove penetrometriche realizzate a scopo comparativo, con penetrometro dinamico DPM 30, hanno evidenziato un netto aumento della resistenza penetrometrica alla punta a seguito delle iniezioni. Lo stesso, è indice di un elevato addensamento del sedime d'imposta della torre ovvero di una notevole diminuzione della sensibilità alla cedimento.

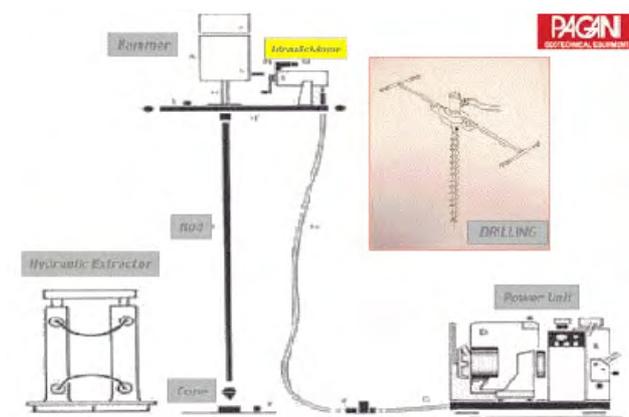


Posizionamento prove penetrometriche



Le prove penetrometriche dinamiche sono state condotte impiegando uno strumento avente le caratteristiche di seguito riportate.

CARATTERISTICHE PENETROMETRO DPM30	
PESO MASSA BATTENTE	30 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	0.20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	14 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	35.70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	10.00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	60°
LUNGHEZZA DELLE ASTE	1.00 m
PESO ASTE PER METRO	2.40 kg
AVANZAMENTO PUNTA	0.10 m
ENERGIA SPECIFICA PER COLPO	6.00 kg/cm ²
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	0.766

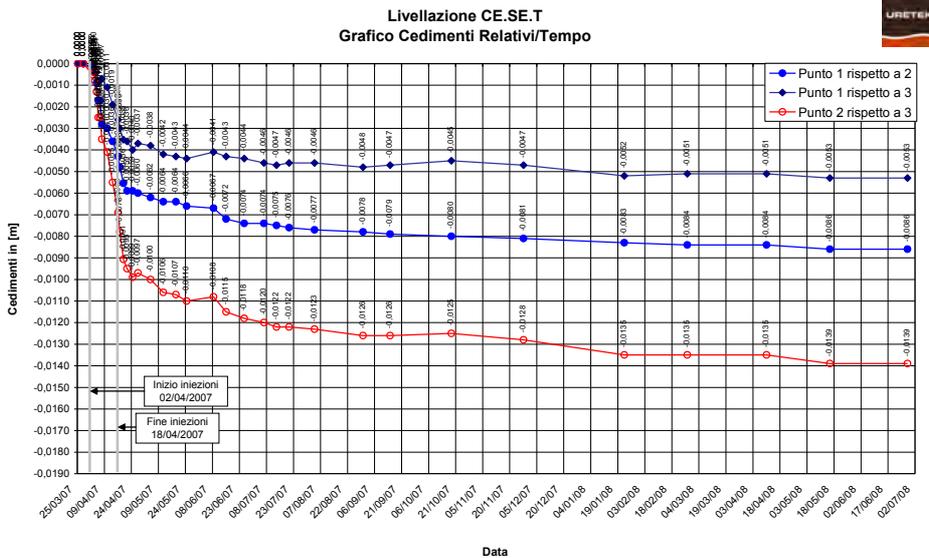
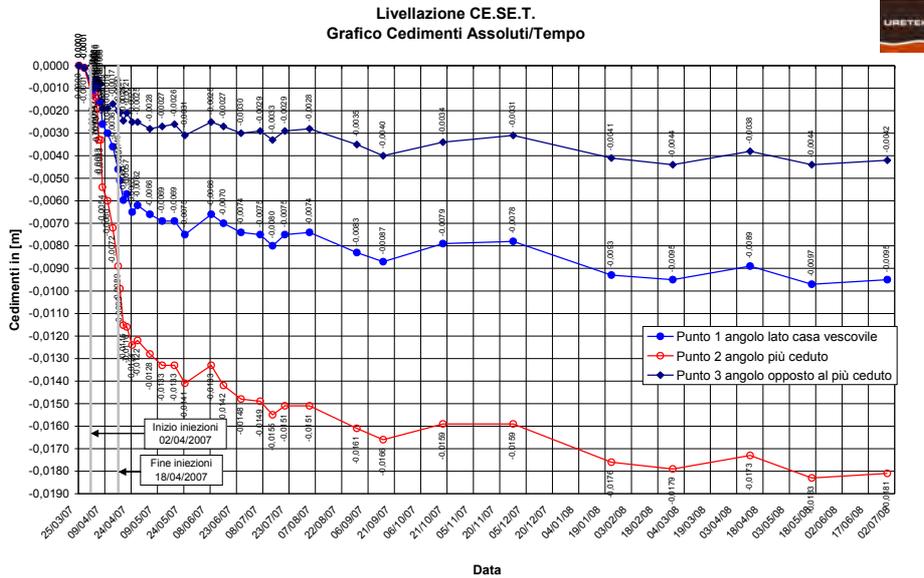


CARATTERISTICHE PENETROMETRO DPM30	
PESO MASSA BATTENTE	30 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	0.20 m
PESO SISTEMA BATTUTA	14 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	35.70 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	10.00 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	60°
LUNGHEZZA DELLE ASTE	1.00 m
PESO ASTE PER METRO	2.40 kg
AVANZAMENTO PUNTA	0.10 m
ENERGIA SPECIFICA PER COLPO	6.00 kg/cm ²
COEFF. TEORICO DI ENERGIA	0.766

Livellazione di precisione

La livellazione di precisione impostata su tre capisaldi della torre è iniziata in data 25/03/2007 e si è resa necessaria per misurare i cedimenti della struttura prima, durante e dopo l'intervento.

Nei grafici cedimenti/tempo sotto riportati, è visibile un evidente smorzamento della velocità del cedimento dopo la fine dell'intervento; questo conferma la bontà della modellazione realizzata in fase di progettazione, ovvero le previsioni di cedimento calcolate.



Lo strumento utilizzato è un livello digitale Trimble DiNi12 della Zeiss di cui si riportano le caratteristiche tecniche dichiarate dal produttore.



SPECIFICHE TECNICHE

DINI 12

Precisione, DIN 18723 (misura elettronica)	
Deviazione standard a 1 Km in andata e ritorno	
- Con stadia laser di precisione con codice a barre	0.3 mm (0.0015 ft)
- Con stadia a codice a barre	1.0 mm (0.003 ft)
Precisione, distanza (misura elettronica)	
Modalità tacheometro (intervallo di lettura stadia \pm 30 cm)	
- Con stadia di precisione con codice a barre	0.5 0' \pm 0.001 m
- Con stadia da ingegneria con codice a barre	1.0 0' \pm 0.001 m
Modalità livellazione (intervallo di lettura stadia 30 cm portata 20 mt)	
- Con stadia di precisione con codice a barre	20 mm (0.066 ft)
- Con stadia da ingegneria con codice a barre	25 mm (0.082 ft)
Precisione angolare	
Cerchio esterno	
- Lettura	1" $\frac{1}{2}$ gon
- Risoluzione	0.1" $\frac{0}{1}$ gon
Cerchio elettronico	
- Unità	
- Deviazione standard su singola osservazione	0"2 ugono
Portata	
Misura elettronica	
- Con stadia di precisione con codice a barre	1.5 - 100 m (5 ft - 328 ft)
- Con stadia da ingegneria con codice a barre	1.5 - 100 m (5 ft - 328 ft)
Distanza minima	
- Con stadia da ingegneria direzione metrura	da 1.8 m (4 ft)
Tempo di misura	
Quota e distanza	5 s
Angoli	32s
Ingrandimenti	
Compensatore	
Campo operativo	\pm 15' \pm 170 ugono
Precisione	\pm 0.2" \pm 0.06 mgono

Su richiesta della direzione lavori sono state installate, poco prima dell'inizio dell'intervento, delle strumentazioni elettroniche altamente precise, ovvero:

- 2 fessurimetri elettronici con precisione pari ad 10^{-2} mm
- 3 inclinometri elettronici con precisione pari ad 10^{-3} °

In questo caso il monitoraggio ha sia lo scopo di registrare nel tempo eventuali tendenze o processi di cedimento in corso, sia, nel breve periodo delle lavorazioni, effettivi movimenti o assestamenti della struttura.

Le lesioni, come è noto, risentono in modo notevole delle variazioni stagionali e giornaliere di temperatura ma per verificare se esistono deformazioni residue permanenti occorre rilevarli con controlli prolungati.

Per questo motivo è stata posizionata una termoresistenza in associazione ai ed agli inclinometri, che con gli stessi intervalli rilevi le variazioni di temperatura. In questo modo è possibile depurare le variazioni di lettura dei fessurimetri dovute agli sbalzi termici.

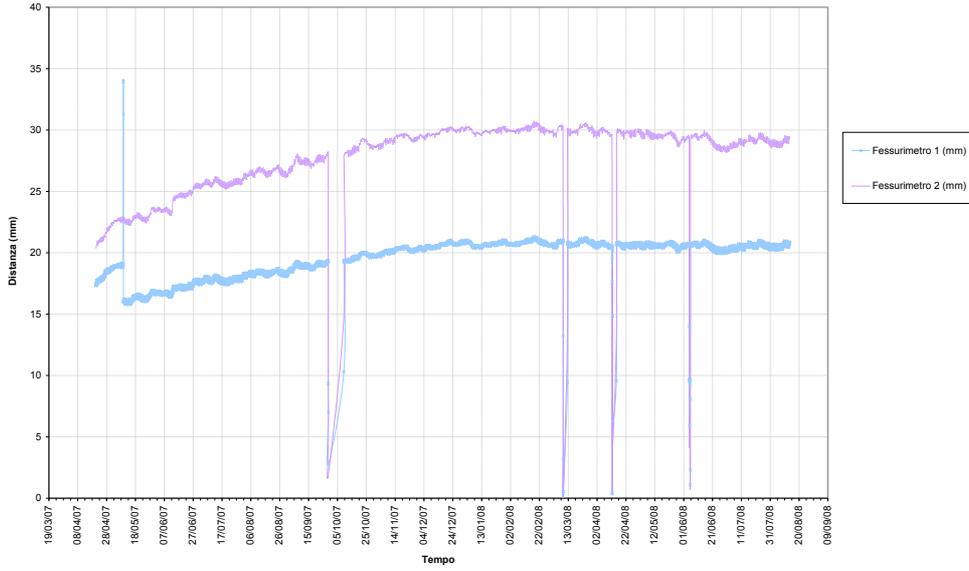
È molto interessante verificare i movimenti avvenuti durante le fasi operative; analizzando i dati strumentali in nostro possesso è possibile infatti fare alcune considerazioni.

Osservando tutti i grafici dei fessurimetri si è notato che durante le prime fasi lavorative, e cioè durante le perforazioni avvenute tra il giorno 8 ed il giorno 16 settembre 2003, il movimento della fessura ha sostanzialmente seguito l'andamento della temperatura, non subendo particolari picchi o sbalzi improvvisi. Ciò significa, che le perforazioni a rotopercolazione, pur attraversando in obliquo le fondazioni del campanile non hanno generato movimenti seppur temporanei nella struttura.

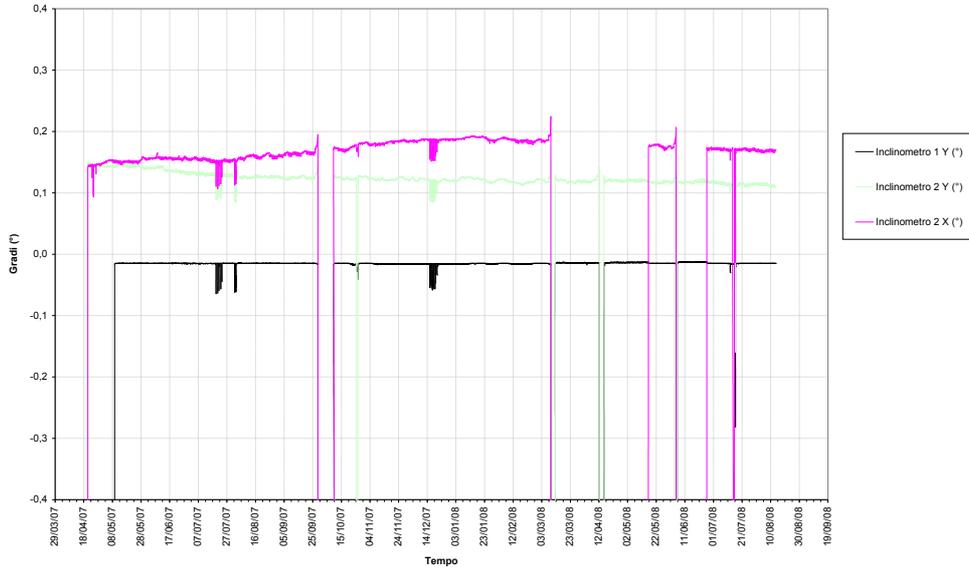
Durante le iniezioni, analizzando invece i grafici è invece possibile rilevare un'evidente variazione dell'andamento dell'ampiezza delle fessure e dell'inclinazione della torre, con la tendenza delle stesse ad aumentare, seppur di poco in termini assoluti, indipendentemente dalle variazioni di temperatura.

È però di seguito individuabile un sostanziale smorzamento delle curve dei grafici, a conferma dell'attuale stato di quiescenza della struttura.

Città di castello
Andamento fessurimetri



Città di castello
Andamento degli inclinometri



Conclusioni

Attraverso lo studio di un intervento riguardante il consolidamento di un edificio di altissimo valore storico si sono voluti evidenziare gli aspetti tecnico-operativi dei trattamenti del terreno a mezzo d'iniezione con resine ad alta pressione d'espansione.

L'utilizzo di questa tecnologia per il consolidamento dei terreni di fondazione ha permesso un omogeneo miglioramento delle caratteristiche geotecniche del terreno sottostante la struttura. Il mantenimento di una rigidità media dell'ammasso confrontabile con i moduli elastici caratteristici dei terreni sciolti consente di evitare una rilevante redistribuzione di tensioni a strati di terreno più profondi.

Le attrezzature necessarie per le lavorazioni, estremamente ridotte, hanno permesso di operare senza grande invasività.

L'intervento, completato in quattordici giorni lavorativi, ha previsto la realizzazione di perforazioni effettuate mediante attrezzatura manuale a rotopercolazione che non hanno in nessun modo determinato un aggravarsi delle lesioni preesistenti.

Attraverso un sofisticato sistema di monitoraggio delle fessure si è rilevato che le operazioni d'iniezione hanno prodotto uno smorzamento dei cedimenti.

I rilevamenti, iniziati prima dell'intervento, hanno evidenziato una situazione di stabilità a partire dai mesi successivi alla data di fine lavori.

La resina iniettata è un materiale ecocompatibile e rispetta tutte le rigide normative esistenti in materia.