



Stabilizzazione della Chiesa di San Giorgio Martire di Cazzano di Tramigna (VR) a mezzo sistema **SOILFRAC**

Ing. E. Nanni
Amministratore Delegato
Keller Fondazioni srl
Verona

Ing. R. Macaccaro
Sinteco s.r.l.
Verona

Presented by

Keller Fondazioni S.r.l.
Verona - Sede centrale

Via della Siderurgia, 10
I-37139 Verona
Tel. (045) 8 18 68 11
Fax (045) 8 18 68 18
E-mail m.contini@keller-fondazioni.com
www.keller-fondazioni.com

Regione Nord-Ovest

Via Lombardia, 11
I-10071 Borgaro Torinese (TO)
Tel. (011) 4 70 26 21
Fax (011) 4 50 32 42
E-mail b.zappalorto@keller-fondazioni.com

Alto Adige / Südtirol

Löwecenter
Via Isarco, 1 / Eisackstraße, 1
I-39040 Varna / Bressanone (BZ)
I-39040 Vahrn / Brixen (BZ)
Tel. (0472) 20 19 09
Fax (0472) 20 19 14
E-mail g.schafferer@kellergrundbau.at

Verona Giugno 2006

Technical paper 6I-64 It

Chiesa di San Giorgio martire

Situata nel centro del paese, è dedicata a San Giorgio martire, patrono del paese. L'edificio fu costruito nell'ultimo ventennio del XIX sec. su disegno dell'architetto don Gottardi in stile romanico – gotico, ad una sola navata con quattro cappelle laterali; fu consacrato il 29 settembre 1906 dal Vescovo di Verona card. Bacilieri (nel 2006 ricorre il centenario della consacrazione). La facciata è divisa in tre campi da finte lesene in funzione puramente decorativa dal basamento alla corona. Nel campo centrale stanno la porta e la bifora con una vetrata raffigurante l'Annunciazione. Nella lunetta un dipinto di Bolla ha sostituito quello precedente che raffigurava pure la lotta di San Giorgio con il drago. Per parlare di altre opere presenti nella parrocchiale bisogna parlare dell'edificio precedente. Sicuramente esisteva nel '300 e la dimostrazione sono tracce di affreschi presenti in un locale dell'attuale edificio. Nel XV sec. l'edificio venne ampliato e di questa struttura non rimane altro che l'altare maggiore del '400, il fonte battesimale ottagonale, in marmo rosso (del XV sec.) e un piccolo tabernacolo in tufo (murato in battistero) con angeli adoranti ed i santi Giorgio e Bartolomeo. Delle vecchie pale rimane solo quella del Ceffis raffigurante la Vergine, San Domenico e San Carlo Borromeo ora presente a destra del presbiterio, rivolta verso l'assemblea. Da segnalare i quadri della via Crucis, opera del pittore Giuseppe Resi. Il campanile è d'epoca recente, costruito in seguito al danno irreparabile subito dalla precedente torre nel 1961 a causa di un fulmine.



Chiesa di San Giorgio martire

Problematica

L'edificio in oggetto è costituito da tre corpi di fabbrica, il primo rappresentato dalla chiesa e dal complesso parrocchiale adiacente, il secondo dalla canonica ed infine il terzo dal campanile. Le evidenti lesioni e fratture caratterizzanti gran parte del fabbricato, sono state causate da cedimenti differenziali dei terreni del substrato, unitamente alla tipologia di fondazione non idonea. Diversi sopralluoghi effettuati sia all'esterno che all'interno della chiesa, antecedenti l'intervento, hanno evidenziato come tali cedimenti abbiano generato numerosi danni e lesioni.



Fessurazioni (esterno)



Fessurazioni (interno)



Fessurazioni (spigolo, facciata principale)

I. Inquadramento geologico-geomorfologico

In riferimento alla relazione geologica redatta dal dott. geol. Paolo Chioatto, dal punto di vista regionale, l'area ricade nella porzione pedemontana compresa tra le Alpi e la Pianura Padana, che a partire dal Giurassico, è caratterizzata da una successione litostratigrafia di alto strutturale ("*Piattaforma di Trento*"), le cui unità principali sono caratterizzate da litotipi principalmente calcarei, fino all'Eocene; successivamente, con l'avvento di intensi processi erosivi, iniziano a comparire litotipi caratterizzati da calcareniti, corpi di frana, fino ai più recenti depositi detritici di versante e alle coperture colluviali e detritiche oloceniche.

Dal punto di vista tettonico, l'area di Cazzano di Tramigna, è compresa tra la faglia di Cerro ad ovest e le faglie di Castelvero s.s. Si tratta di faglie normali con piani subverticali ed immersione generalmente tendente ad est, con rigetti massimi valutabili nell'ordine delle centinaia di metri.

Nell'area oggetto dell'intervento, i tipi litologici rilevabili sono costituiti da affioramenti rocciosi (calcari e calcari marnosi), depositi detritici (clasti di natura calcarea e calcareo-marnosa in matrice limoso-argillosa) e materiali e depositi di origine antropica.

Per quanto concerne l'idrologia, l'area della chiesa di S. Giorgio Martire si trova in prossimità delle sorgenti del Torrente Tramigna, poste in un bacino artificiale. La quota della superficie piezometrica è stata rilevata in due sondaggi S1 ed S3 e si attestata ad una profondità media rispettivamente di circa -2,00 m e -3,97 m rispetto al p.c. (periodo di misura aprile-maggio 2004).

Sono state eseguite nuove misure, da personale Keller, nel periodo novembre '05, dove la piezometrica è stata rilevata ad una profondità di -2,42 m e -4,49 m, rispettivamente in S1 ed S3.

2. La tecnologia SOILFRAC

La tecnica del *soil - fracturing* venne sviluppata nel campo dell'industria petrolifera come sistema per aprire o allargare le vie di scorrimento naturali del petrolio fino ai pozzi. Negli anni '60 Keller ha preso spunto da questi procedimenti per sviluppare una serie di interessanti applicazioni nel campo della geotecnica. Soilfrac è il marchio registrato del procedimento utilizzato da Keller.

Soilfrac produce l'apertura di vie di scorrimento nel terreno (*fracs*) dove la miscela di iniezione penetra ed indurisce. Ripetuti cicli di iniezione inducono un miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche in ogni tipo di terreno e preludono all'eventuale sollevamento.

La sospensione iniettata ha un contenuto molto alto di legante solido che penetrando a pressione forma delle sacche per rotture localizzate (*claquage controllato*), così facendo si formano all'interno del terreno delle così dette lamelle che si estendono in direzione verticale le quali imprimono al terreno una tensione orizzontale con effetto di consolidamento.

Iniezioni ripetute portano ad un'estensione delle ramificazioni di queste lamelle con un conseguente innalzamento delle tensioni sia verticali che orizzontali.

L'aggiunta di questo volume di materiale solido nel terreno porta poi quale risultato finale ad un sollevamento controllato dell'ammasso sovrastante il piano iniettato.

Il controllo dei lavori avviene attraverso la scelta di specifici parametri (pressione, quantità, numero fasi), dei punti d'iniezione ed il controllo dell'evolversi temporale del processo.

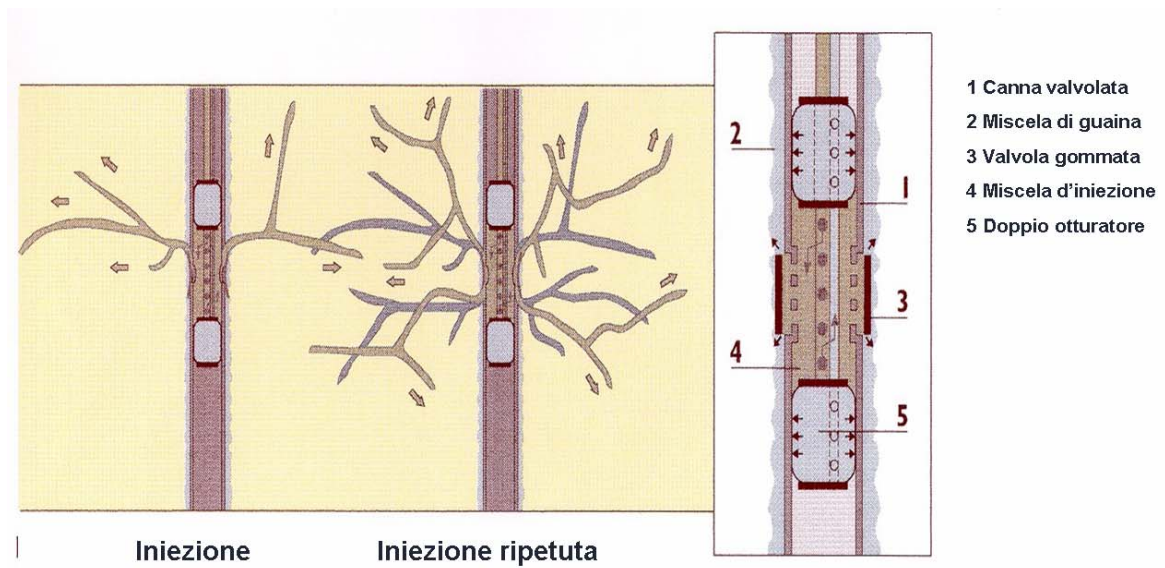
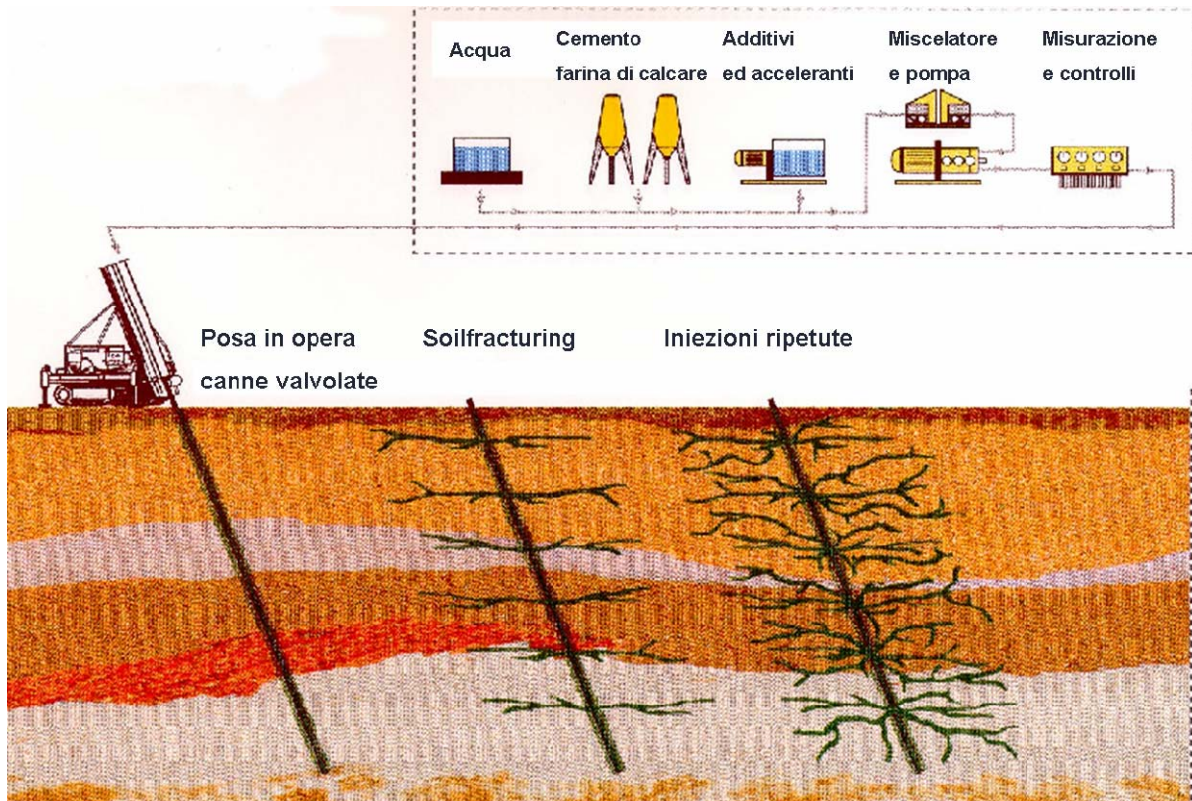
Quest'ultimo è reso possibile da una misurazione a brevi intervalli di tempo della reazione del terreno a mezzo di letture topografiche del movimento del corpo di fabbrica sovrastante che si presume essere ad esso sensibile.

Il sistema Soilfrac si basa, per ottenere i risultati voluti, su specifici sistemi e tecniche di controllo e misura appositamente sviluppati.

Solo un controllo strumentale affidabile e gestito in tempo reale consente infatti la riuscita di cicli di sollevamento successivi.

L'iniezione avviene attraverso appositi tubi valvolati messi in opera nella zona da consolidare, la profondità d'iniezione viene scelta in modo da mantenere un cuscino di terreno tra la fondazione ed il piano d'iniezione in modo che questo possa arrotondare le punte di tensione provocate dalle iniezioni consentendo un sollevamento più omogeneo.

Soilfrac è il sistema studiato e sviluppato per contrastare i cedimenti, esso può operare sia una ricomprensione del sistema terreno-fondazione, sia una bonifica di fondazioni dislocate o degradate.



METODOLOGIA OPERATIVA

4.1 Fase I : PERFORAZIONI

Durante la fase delle perforazioni, iniziata in data 14/12/05 e conclusa il 31/01/06, sono state messe in opera 4 serie di tubi valvolati, le cui differenti tipologie sono riportate nella tabella seguente.

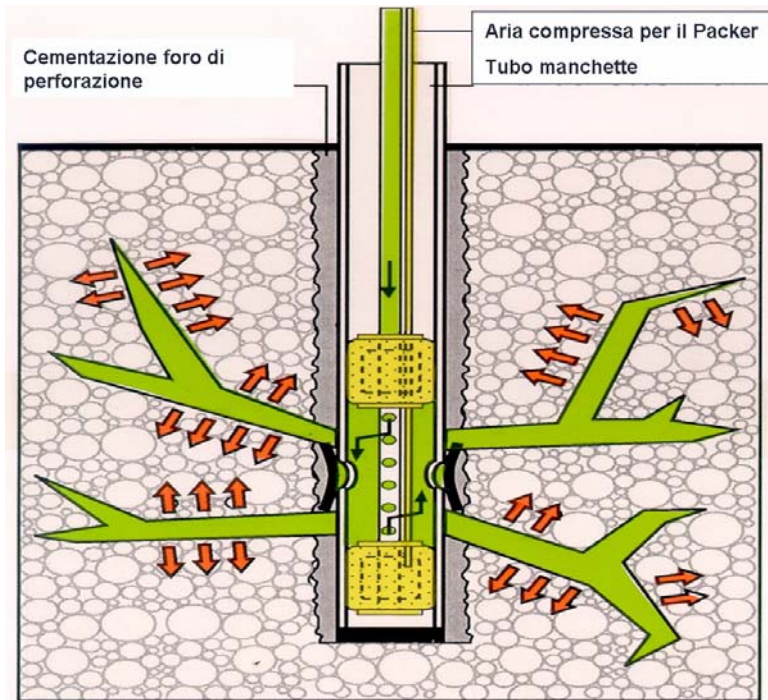
Tipo canna	N° canne	Lunghezza singola	inclinazione	N° totale tubi	Metri lineari totale
a	24	16	75°	192	384
b	11	22	30°	121	242
c	19	16	60°	152	304
d	18	20	45°	180	360
e	1	16	75°	8	16

Tabella I – Caratteristiche delle perforazioni e delle canne valvolate messe in opera.

I metri totali di perforazione risultano essere 1306 e la loro distribuzione è tale da coprire in maniera omogenea l'area da trattare, in particolar modo la porzione perimetrale in corrispondenza dei muri portanti.

Ogni singola canna è dotata di speciali "manchettes" in gomma elastica, poste con passo 0,5 m che rendono possibile un utilizzo ripetuto delle stesse.

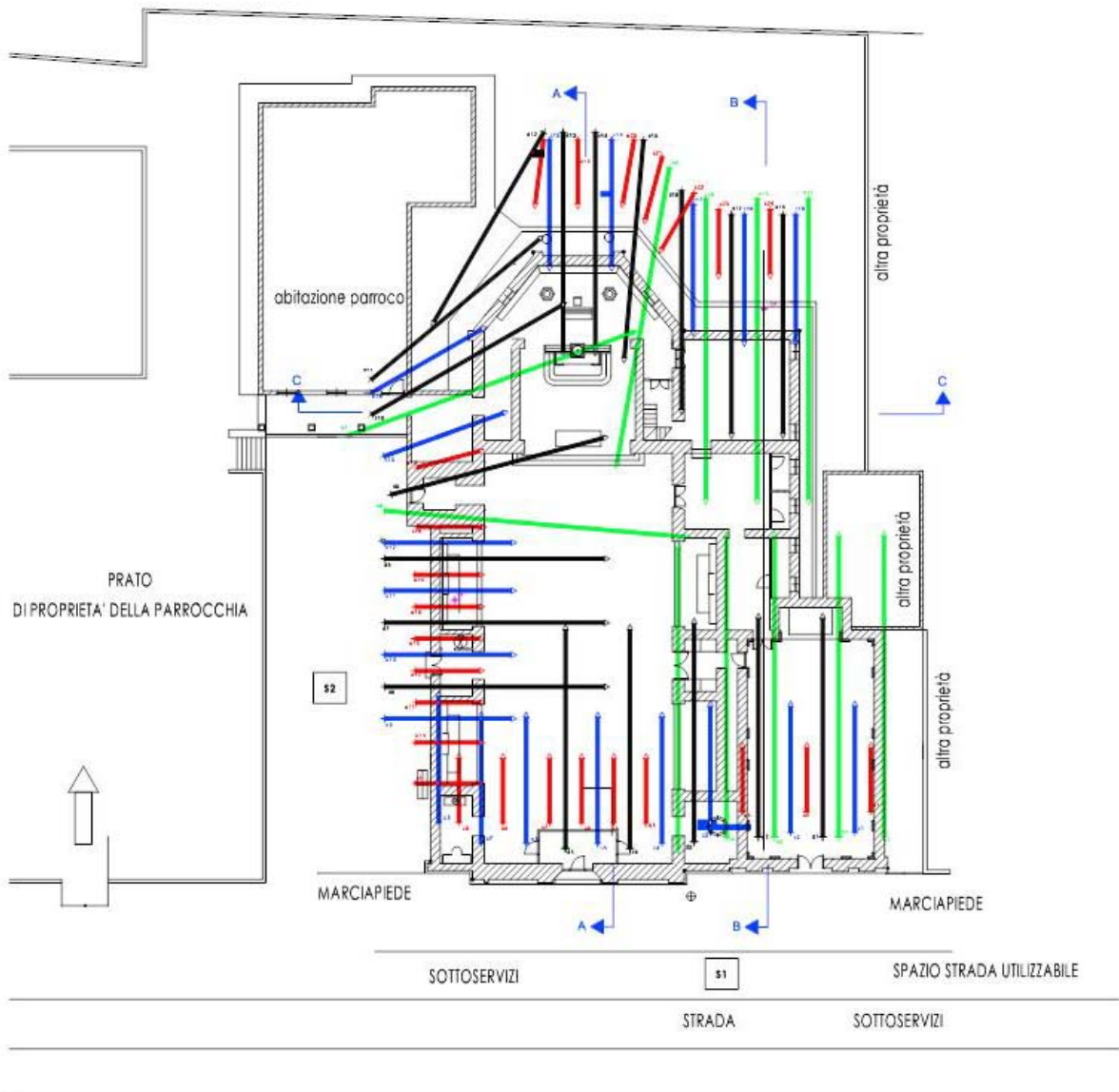
Il volume totale di terreno trattato, ammonta ad un totale di circa 12000 m³.



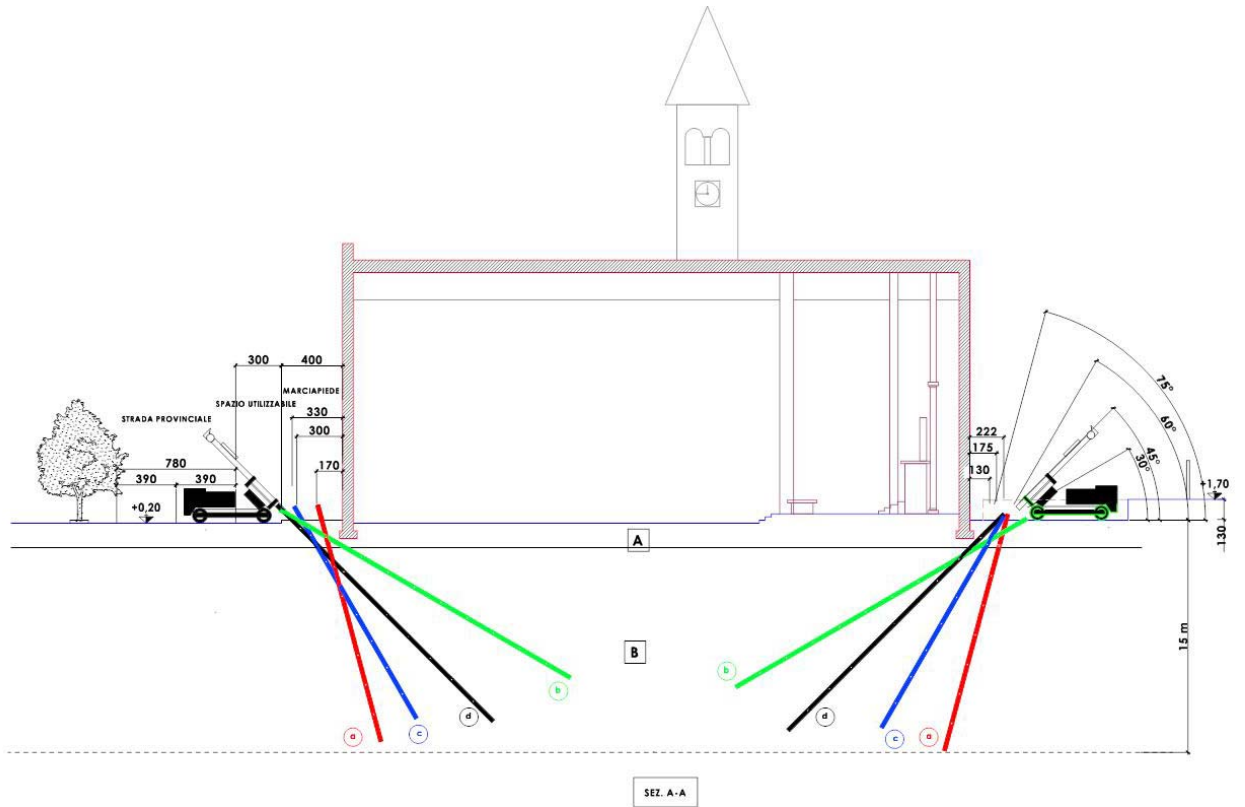
Perforazioni tipo "d" (lato strada).



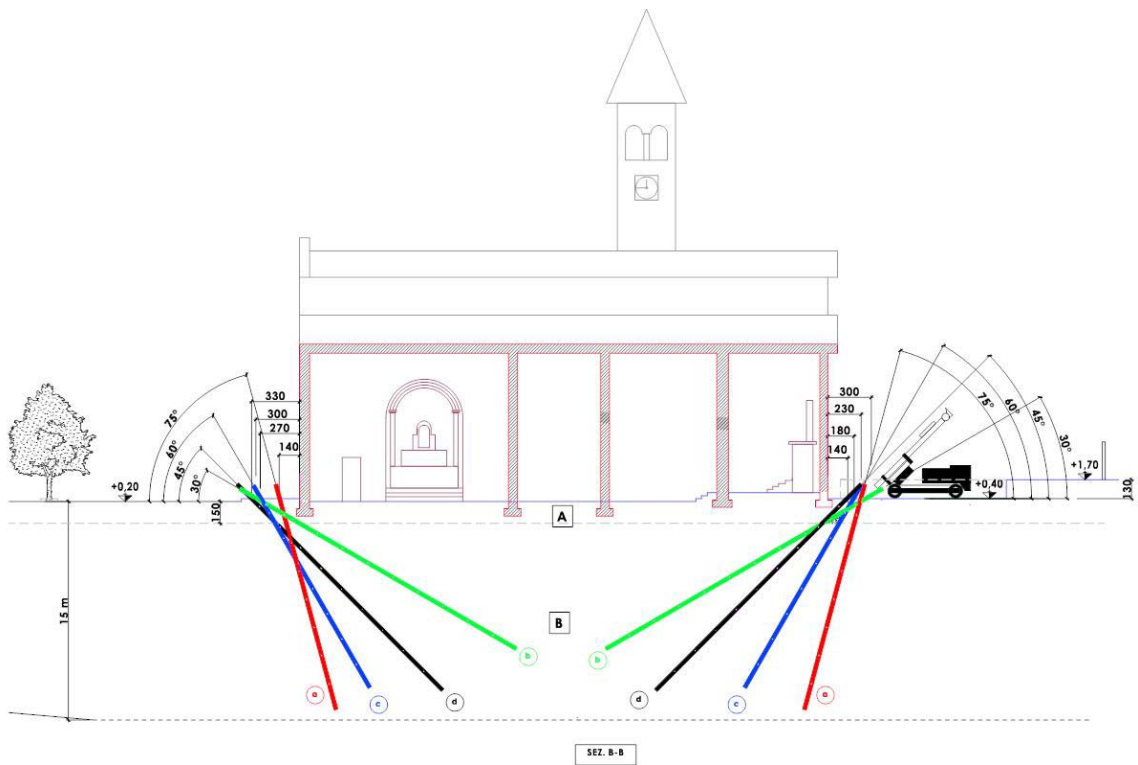
Perforazioni tipo "a" (lato strada).



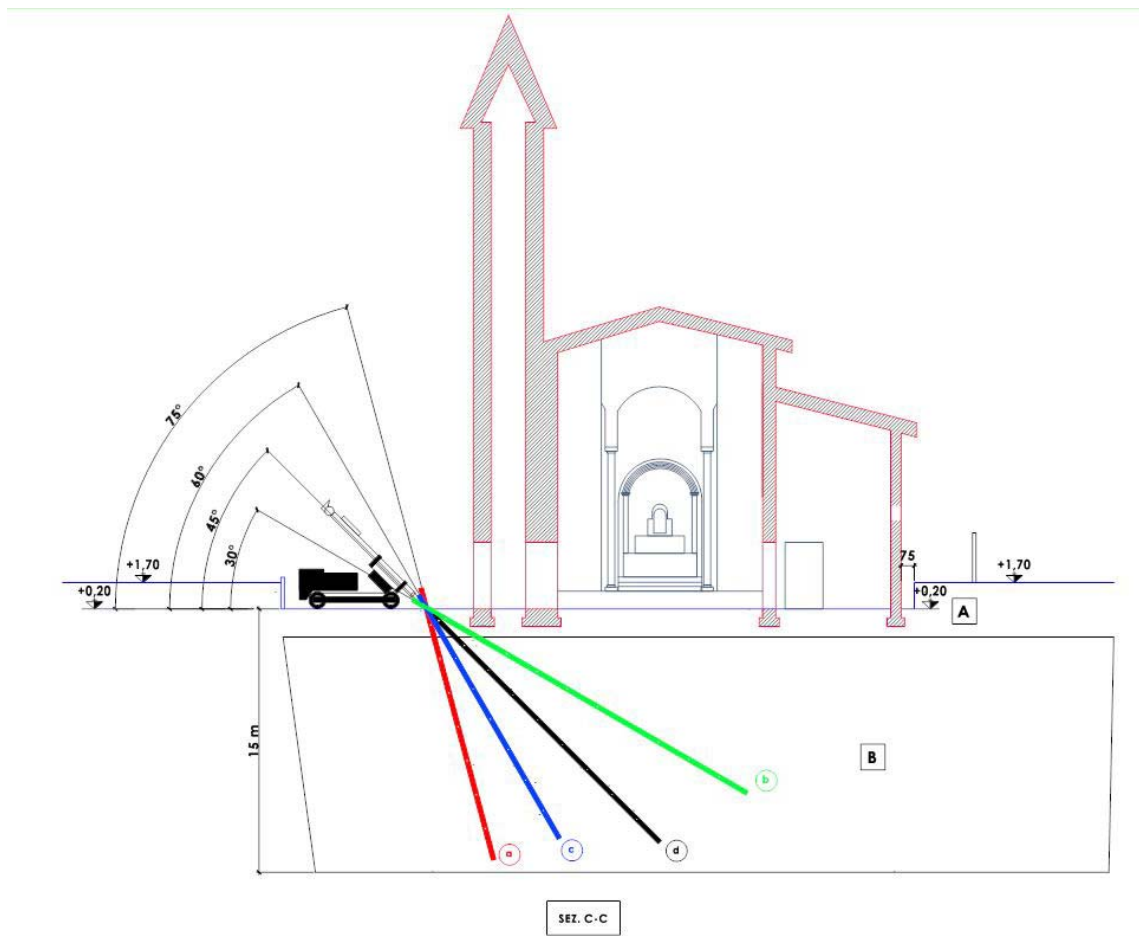
Planimetria delle perforazioni (sono ubicate le sezioni riportate di seguito A-A' B-B' C-C')



Sezione A-A'



Sezione B-B'



Sezione C-C'

Fase 2 : INIEZIONI

La fase di iniezione, è stata eseguita tramite appositi terminali flessibili (packer), caratterizzati da un doppio otturatore, che permettono una puntuale e mirata iniezione di miscela valvola per valvola; si distinguono diverse sottofasi, e più esattamente:

- **Iniezioni per il ripristino del contatto fondazione-terreno**
tramite le quali si ottiene un costipamento grossolano del sottosuolo con eventuale riempimento delle cavità naturali esistenti o causate dalla perforazione; vengono ripetute su tutta l'area fino al verificarsi dei primi accenni di sollevamento.
- **Iniezioni di stabilizzazione**
per mezzo delle quali si ottiene una mobilitazione del terreno stimabile intorno a 1-2 mm.
- **Sollevamento controllato**
tramite le iniezioni, vengono eseguiti dei sollevamenti limitati e puntuali. I cicli di iniezione vengono ripetuti ed ogni sollevamento deve avvenire con una velocità compatibile con le strutture ed il terreno d'impasto.



Iniezioni *SOILFRAC*, nel settore dell'abside della struttura.

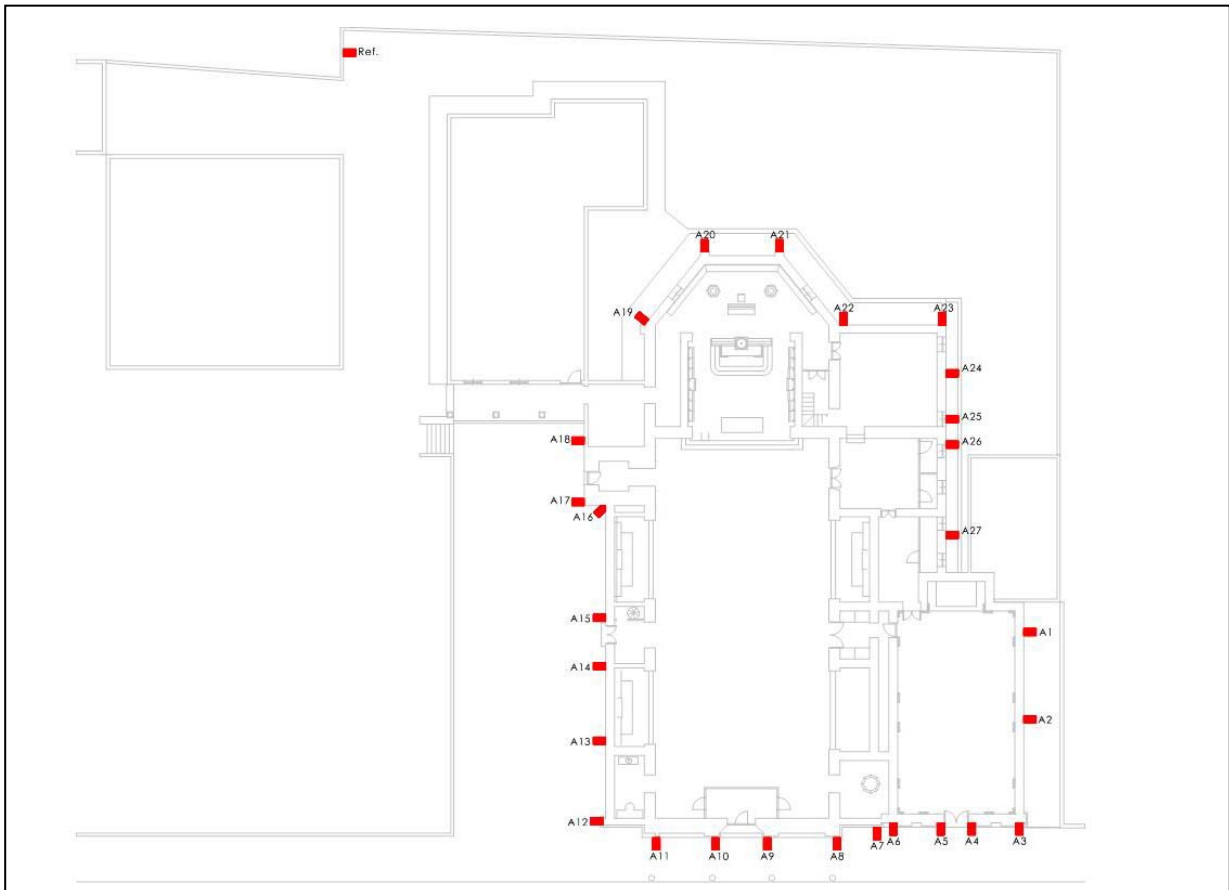
Durante la fase di iniezione, sono stati effettuati diversi cicli, alla fine dei quali sono stati iniettati complessivamente circa litri di miscela. La miscela utilizzata ha caratteristiche composizionali a base di cemento, farina dolomitica e la minima aggiunta di additivi con acceleranti di presa.



Iniezioni *SOILFRAC*, nel settore della canonica

Misure e controlli topografici

Il monitoraggio topografico è un aspetto estremamente importante quando si esegue un intervento Soilfrac. In riferimento alla Chiesa di S. Giorgio Martire, sono stati installati, lungo tutto il perimetro dell'edificio, 27 punti fissi di monitoraggio (A1, A2, ..., A27), tramite i quali è stato possibile misurare quotidianamente i cedimenti ed in seguito i sollevamenti, che si verificavano rispetto ad un punto di riferimento (Ref.), posizionato in una zona al di fuori dell'area di influenza delle iniezioni e delle perforazioni.



Ubicazione dei punti di monitoraggio e di riferimento (Ref.).

La disposizione dei punti di monitoraggio è stata scelta affinché risultino dislocati quanto più omogeneamente sull'area del fabbricato. I dati rilevati, hanno avuto lo scopo di valutare gli effetti delle perforazioni e delle iniezioni sulla struttura in esame e decidere quindi se modificare il tipo di ciclo rispetto a quello appena concluso.

Tutti i dati di monitoraggio sono stati raccolti per la realizzazione di elaborati grafici che consentono una lettura semplice ed immediata, punto per punto.

Conclusioni

Dall'analisi dei dati di monitoraggio e dei volumi di miscela iniettati, il risultato desiderato è stato raggiunto dopo circa 23 cicli di iniezione. Durante la prima fase, si è raggiunto l'obiettivo di preintasamento-contatto e stabilizzazione fra terreno e fondazioni, con risultati che hanno evidenziato un sollevamento di tutta l'area intorno ai 4-5 mm. Nella seconda fase è stato realizzato un sollevamento controllato di alcune zone non ancora perfettamente stabilizzate.

Complessivamente sono stati iniettati 384.73 l litri di miscela che rapportati al volume totale da trattare (12000 m³), permette di stimare l'indice di efficienza, secondo l'equazione:

$$\eta = 384.73 \text{ l} / 12000 = 32,06 \text{ l/m}^3 \sim 3,2\%$$

Più del 50% circa del volume complessivo, è stato iniettato nella zona 2 quella che evidenziava, prima dell'inizio dei lavori, le maggiori lesioni dovute a cedimenti differenziali. Inoltre in corrispondenza di quest'area, alla fine della fase delle perforazioni, si erano verificati i maggiori cedimenti, dato che conferma le pessime caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione della chiesa.