

STABILIZZAZIONE DI STRUTTURE CON INIEZIONI DI RESINE ATTRAVERSO UN TRATTAMENTO OMOGENEO

Crepe nei muri in strutture esistenti?

Le crepe sono spesso causate da cedimenti del terreno. **Consolidare il terreno con iniezioni di resine espandenti è la soluzione ottimale** con i vantaggi di un **SISTEMA UNICO** grazie ad un trattamento omogeneo, un'azione localizzata, la certezza delle iniezioni ed un risultato immediato.

Nella lettura è possibile approfondire:

- Le specifiche dell'azione delle iniezioni di resine - *pag. 1*
- Il nuovo sistema d'iniezione brevettato URETEK per stabilizzare i terreni di fondazione con resine espandenti - *pag. 2*
- Un intervento eseguito in un edificio ad uso residenziale a Loreo (Ro) - *pag. 9*.

COME FUNZIONANO LE INIEZIONI DI RESINE

Il principio di funzionamento delle iniezioni di resine nel sottosuolo in caso di fessurazioni di strutture dovute a cedimenti del terreno consiste nell'iniettare nel tratto di terreno interessato, attraverso un tubo di piccolo diametro preventivamente inserito, due componenti di una speciale resina poliuretanica che reagiscono chimicamente fra di loro e si espandono nel terreno in pochissimo tempo.

La resina, diffondendosi nel terreno ed espandendosi velocemente in qualche secondo, permette di migliorarne le caratteristiche meccaniche, sostanzialmente modificando il comportamento tensioni-deformazioni e permeabilità globale del volume di terreno trattato.

Le resine Uretek Geoplus® utilizzate per il miglioramento delle caratteristiche dei terreni sono a rapida espansione e con pressione di rigonfiamento medio/alta; la rapida espansione assicura che la resina non si allontani, l'alta pressione di rigonfiamento garantisce che la resina si diffonda uniformemente e compatti il terreno in ogni sua parte.

Gli intervalli di sospensione dell'iniezione sono definiti in modo che la resina iniettata in ogni fase abbia il tempo di cominciare l'espansione e compattare il volume di terreno desiderato, ostacolando così la dispersione della resina iniettata nelle fasi successive.

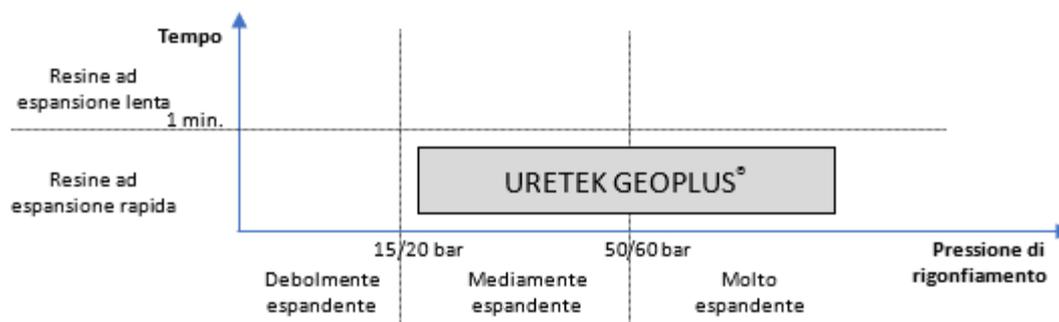


Figura 1 – Grafico semplificato pressione di rigonfiamento in funzione del tempo.

Le azioni esplicate dall'iniezione di resine poliuretatiche si possono riassumere come segue:

- Permeazione del suolo circostante il punto di iniezione (in relazione alla tipologia di suolo)
- Polimerizzazione ed espansione
- Diffusione mediante "claquage" e compattazione del suolo
- Stabilizzazione e sollevamento della struttura

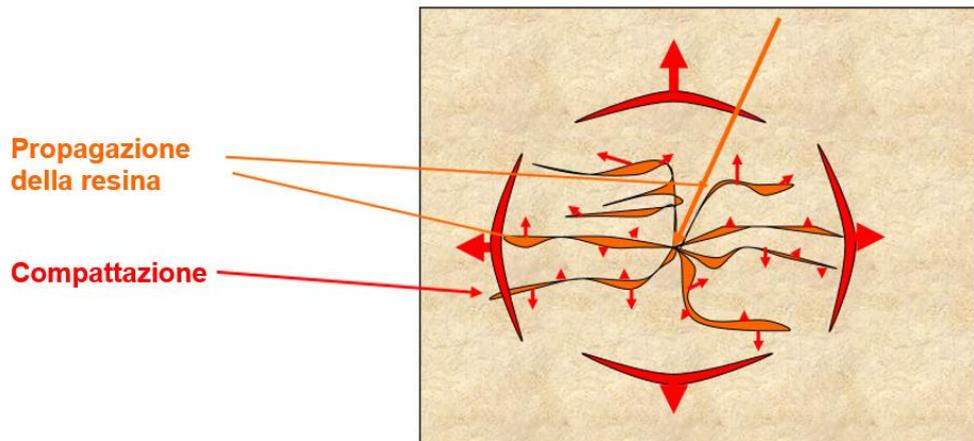


Figura 2 – Schema semplificato della propagazione della resina e compattazione del terreno.

Vi sono numerosi studi che trattano l'argomento del miglioramento del terreno tramite resine e confermano con test in sito e di laboratorio e con modelli numerici quanto effettivamente riscontrato nei casi reali, in cui peraltro sono impiegate tecniche sofisticate di controllo e monitoraggio in tempo reale (in tutti i cantieri URETEK il rilievo degli spostamenti dei manufatti soprastanti i punti di iniezione è fatto con tecnologia Laser o Radar come nel caso di iniezioni con Deep-Injection Plus®)

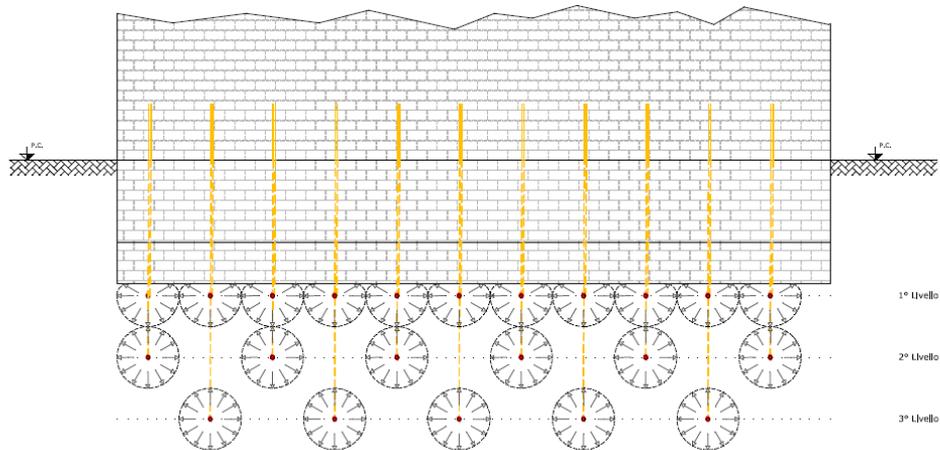
URETEK grazie a consistenti investimenti in R&D ha esteso il campo di applicazione delle tecniche di iniezione ad altri ambiti oltre a quello iniziale delle iniezioni al di sotto delle fondazioni. Le altre soluzioni URETEK sono: Arresto infiltrazioni di strutture interrato, Sollevamento e stabilizzazione di pavimenti, Riempimento cavità, Risanamento e consolidamento di murature e stabilizzazione manufatti controterra.

URETEK MULTIPOINT® - DIFFUSIONE CAPILLARE

URETEK Italia ha recentemente affiancato alla tecnologia DEEP INJECTIONS® la tecnologia **URETEK MULTIPOINT® - DIFFUSIONE CAPILLARE** - che consiste nell'iniezione di resine attraverso una **cannula con più fori laterali** (12÷14) detta "multiforo" anziché un solo foro terminale come nel sistema tradizionale con iniezione a più livelli. Le iniezioni sono eseguite in modo intermittente, ossia l'erogazione della miscela viene alternata a dei momenti di pausa di durata predefinita.

La sperimentazione è partita a inizio 2017 ed è terminata nel Luglio 2018 con il deposito del relativo Brevetto.

Sistema tradizionale con iniezioni a livelli



Sistema con iniezioni URETEK MULTIPPOINT®

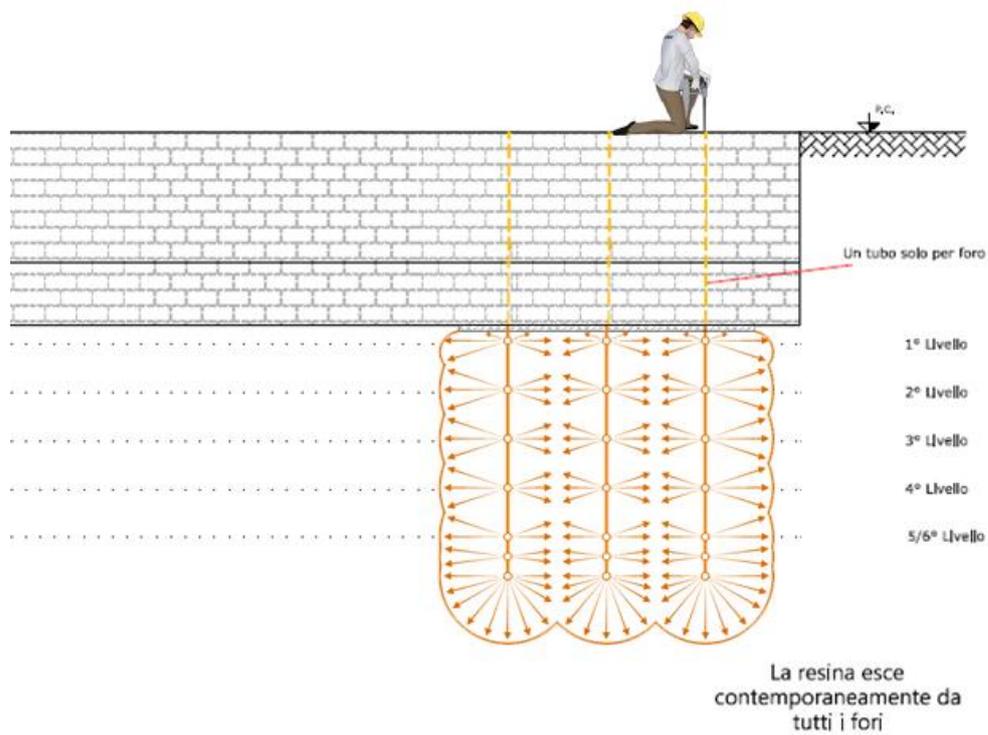


Figura 3 – Schema metodo con iniezione tradizionale a più livelli e metodo iniezioni URETEK MULTIPPOINT®.

URETEK MULTIPOINT® - Il sistema d'iniezione brevettato per stabilizzare i terreni con resine espandenti
BREVETTO ITALIANO N° 102018000007020



I punti di forza del sistema URETEK MULTIPOINT® sono:

- Una maglia d'iniezione molto fitta e regolare grazie all'alto numero di fori CALIBRATI presenti sulla superficie laterale della cannula
- La resina fuoriesce contemporaneamente da tutti i fori presenti sulla cannula di iniezione (12÷14 fori per cannula), grazie alla progettazione della disposizione dei fori, calibrati e di dimensione crescente con la profondità e garantisce un trattamento omogeneo. Questo permette di definire la portata per singolo foro grazie alla calibrazione del diametro delle aperture eseguite sulla superficie laterale delle cannule
- La resina si localizza nei pressi dei fori di uscita evitando dispersioni, ovvero discontinuità di trattamento grazie alla possibilità di eseguire le iniezioni in modo intermittente con una resina che solidifica rapidamente
- La resina permette d'iniettare ad una pressione di sbocco di poco superiore alla pressione di claquage del terreno garantendo la diffusione della miscela anche in volumi a bassa permeabilità.

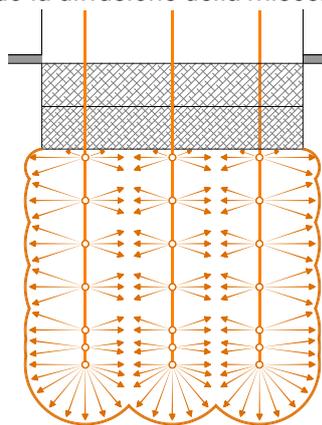


Figura 4 – Schema distribuzione della maglia d'iniezione e dei punti di diffusione della resina.

Trattandosi di resine con una determinata viscosità e un tempo piuttosto ridotto di reazione chimica è stato necessario calibrare con estrema attenzione tutti i parametri quali pressione e volume di iniezione, diametro e caratteristiche della cannula multiforo, diametro e interasse dei fori laterali in modo da uniformare e distribuire l'iniezione lungo tutto il tratto forato.

Infatti, fori dello stesso diametro porterebbero a una iniezione non omogenea (o non possibile) come evidenziato nelle figure seguenti che riportano i risultati di prove eseguite con diverse configurazioni di fori nelle cannule

Allo scopo di progettare le cannule e ottimizzare il processo di iniezione sono stati sviluppati dei modelli matematici con il metodo degli elementi finiti a cura dei Proff. Manassero e Dominijanni del Politecnico di Torino.

Sono state studiate e testate varie configurazioni d'interasse e diametro dei fori arrivando ad individuare la configurazione ottimale per trattamenti di strati di terreno da 2 e 3 metri di profondità.

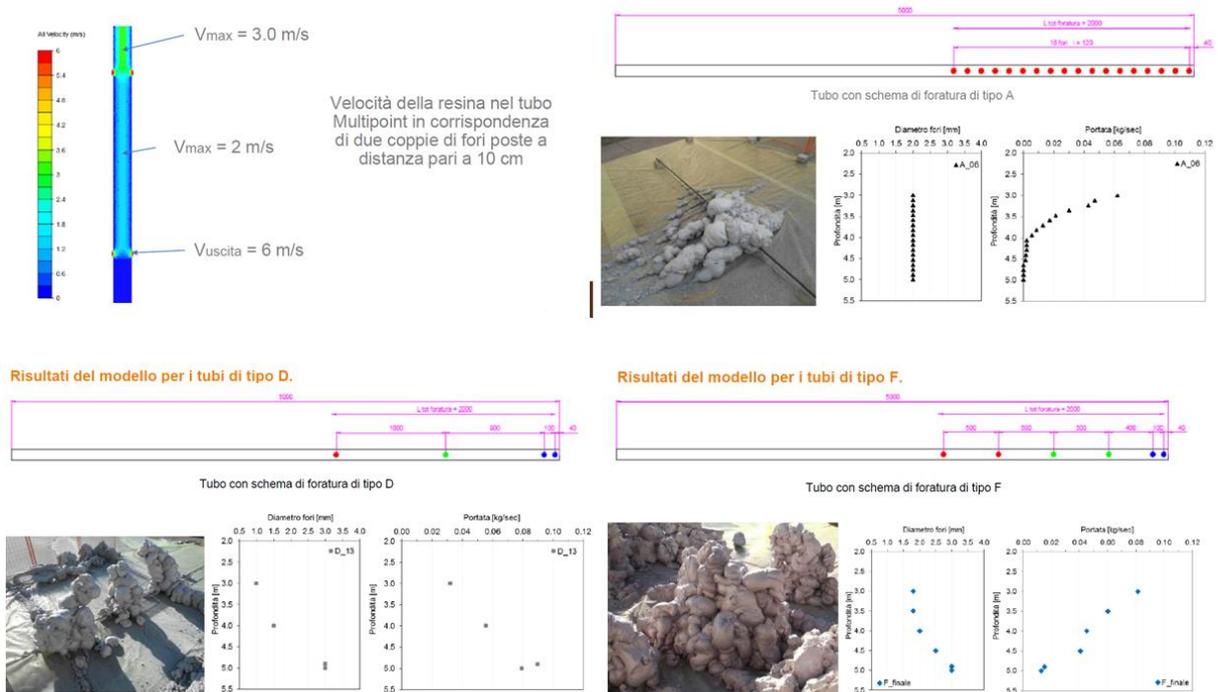


Figura 5- Schemi modello teorico del flusso della resina e sperimentazioni.

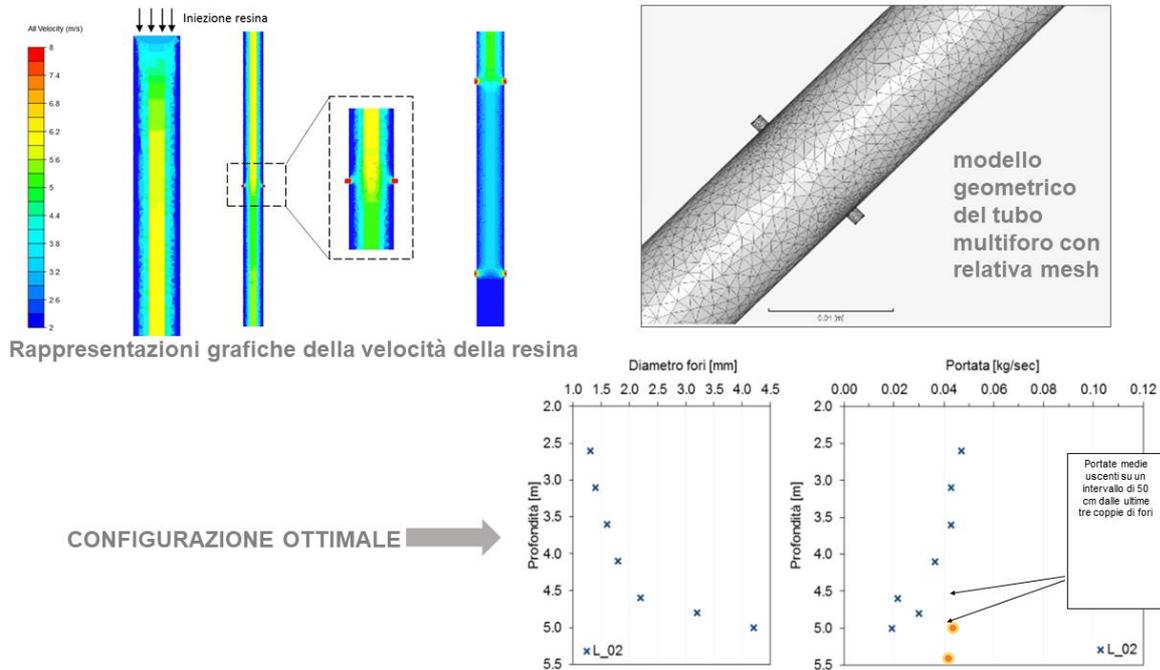


Figura 6- Schema modello teorico del flusso della resina, mesh ad elementi finiti e rappresentazione della configurazione ottimale.

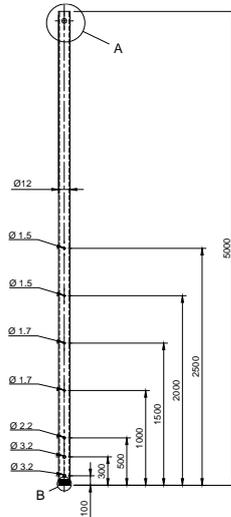


Figura 7 - Interasse e diametri dei fori passanti per trattamento di 3 metri di profondità.

Per trattare profondità maggiori si può facilmente ricorrere a iniezioni sovrapposte di tubi forati posti in serie.

La fase di sperimentazione in casi reali è stata condotta in 33 interventi di cui 19 interventi con terreno prevalentemente coesivo, 8 interventi con terreno prevalentemente granulare, 6 interventi con terreno "misto": granulare + coesivo.



Al fine di avere un riscontro immediato (per quanto speditivo e non esaustivo) sul miglioramento del terreno sono state eseguite prima e dopo il trattamento prove dinamiche con penetrometro "leggero" DPL con massa battente da 30 kg e volata 20 cm rilevando il numero di colpi necessario per l'affondamento di 10 cm di una punta conica di 10 cm².

I risultati sono sintetizzati nella seguente tabella (C=Coesivo, G=Granulare, GC="Misto")

	Terreno	Profondità trattamento	Profondità fondazione	Sviluppo complessivo	Nmedio prima	Nmedio dopo	inc. %
	-	m	m	m			
1	C	3	1.5	18	5.9	10.2	72.9%
2	C	3	1.5	30	14.6	22.15	51.7%
3	C	3	1.5	20.5	8.5	14.6	71.8%
4	C	2	1.7	21.6	22.1	18.8	-14.9%
5	C	3	2	16	15.25	20.15	32.1%
6	C	3	1.8	16	8.6	15.2	76.7%
7	C	4	1	7	4.6	21.1	358.7%
8	C	3	1.3	80	5.2	8	53.8%
9	C	4	1	19.2	9.6	15.9	65.6%
10	C	3	1.6	22.5	7.5	10.6	41.3%
11	C	3	1.5	76	15.5	19.6	26.5%
12	C	3	2	8	6.8	11.3	66.2%
13	C	3	1.2	2.2	12.5	25.6	104.8%
14	C	3	1.4	11	28.2	29	2.8%
15	C	3	1	13.7	22.7	25.5	12.3%
16	C	3	2.2	6	7.7	10.5	36.4%
17	C	3	0.9	13	12.6	23	82.5%
18	C	5	1.3	18	6.7	15.2	126.9%
19	C	3	0.2	13	6.8	13.2	94.1%
20	G	3	1.6	4	8.9	13	46.1%
21	G	3	1.2	16	5.4	23.1	327.8%
22	G	3	1.3	16.5	22.39	39	74.2%
23	G	6	0.7	25	7.4	14.7	98.6%
24	G	2	1	23	6.65	14.5	118.0%
25	G	2	1.6	78	22.4	28.25	26.1%
26	G	3	1	72	5.65	9.6	69.9%
27	G	3	0.8	19	7.6	8.7	14.5%
28	GC	3	2	24	7	12.5	78.6%
29	GC	2	2	23	6.4	7.6	18.8%
30	GC	4	0.9	46	4.3	7.35	70.9%
31	GC	3	1.32	21	6.7	16.3	143.3%
32	GC	4	1.2	54	3.9	7.13	82.8%
33	GC	3	1.3	65	7.9	9.6	21.5%
media							
		3.2	1.3	27.2	10.4	16.4	77.4%

media complessiva				
tipo terreno	n.casi	N pre	N post	incremento
coesivo	19	11,7	17,3	71,70%
granulare	8	10,8	18,9	96,90%
coesivo e granulare	6	6	10,1	69,30%

Figura 8 – Schemi prove penetrometriche.



Da quanto sopra esposto si nota chiaramente che l'incremento medio di resistenza (espressa come numero di colpi DPL) è stata del +77.4%, con punta massima di +358% e minima del -15%, entrambe in terreni prevalentemente coesivi. Nonostante i dati penetrometrici dinamici DPL presentino qualche limite di affidabilità nella valutazione dei parametri geotecnici, in modo particolare nei terreni coesivi, la comparazione degli stessi dati nelle condizioni ante e post iniezione fornisce un dato affidabile sul miglioramento della resistenza del terreno prodotto dalle iniezioni lungo la verticale indagata.

In definitiva il sistema URETEK MULTIPOINT® permette un netto miglioramento del terreno "in continuo" lungo tutta la lunghezza della cannula conservando le peculiarità di non-invasività dell'intervento e drastico risparmio sui lavori accessori che sarebbero necessari in caso di altro tipo di intervento quale sottofondazioni con micropali.

Il metodo d'iniezione URETEK MULTIPOINT® risolve in tutti i casi dove è necessario:

- Consolidare il terreno di fondazione per migliorare le caratteristiche meccaniche e idrauliche delle strutture anche a profondità considerevoli e per grandi volumi di iniezione (Consolidamento di grandi volumi di terreno. Edifici con fondazioni a geometria complessa o estesa. Strutture industriali (carriponte, etc.), Strade, Piazzali, Aeroporti, Porti.
- Aumentare o recuperare portanza di Banchine, Moli, Rotaie ed Opere Civili in genere
- Mettere in sicurezza Opere Murarie, Bacini di carenaggio, Moli e Rilevati ferroviari



**MESSA IN OPERA
RAPIDA**



**SOLUZIONI
NON INVASIVE**



**INTERVENTI
ECONOMICI**



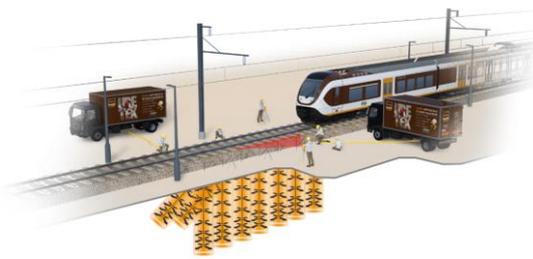
**GRANDE
FLESSIBILITA**



**RISULTATO
IMMEDIATO**

**PER MAGGIORI INFORMAZIONI ED APPROFONDIMENTI
E' POSSIBILE CONTATTARE L'UFFICIO TECNICO DI URETEK**

[**CLICCA QUI**](#)





INTERVENTO SU EDIFICIO AD USO RESIDENZIALE

Un caso emblematico è relativo all'intervento eseguito a Loreo (Ro), dove tipicamente vi sono zone con presenza nei primi metri di argilla torbosa che sovrastano uno strato di sabbia.

L'edificio è risalente al 1920, con fondazioni in cemento e muratura disposte su piani differenti, nel quale sono state osservate diverse lesioni (fessurazioni anche passanti); il quadro fessurativo ha fatto pensare a fenomeni di variazioni di contenuto d'acqua (essiccamento e successiva imbibizione dovuta a una tubazione rotta) oltre che alla probabile presenza di torbe e alla peculiare geometria fondazionale (fondazioni continue in calcestruzzo poste a -1.9 m e presenza di un piano interrato), come da seguente scheda:

Committente:	Privato
Descrizione fabbricato	Edificio ad uso residenziale costruito attorno al 1920, con 2 piani fuori terra ed 1 parzialmente interrato. Le strutture in elevazione sono in muratura. Le fondazioni sono continue in calcestruzzo con dimensioni indicative: Larghezza ca. 60 cm, profondità di posa a - 190 cm dal piano di calpestio del marciapiedi esterno.
Stato di fatto:	Le fessurazioni si sono manifestate alcuni anni fa e sono progressivamente peggiorate in particolare dopo l'estate siccitosa del 2017. La dimensione massima delle fessure è di circa 5 mm, e alcune sono passanti. Le possibili cause del cedimento sono imputabili a fenomeni di essiccamento (in particolare durante l'estate siccitosa del 2017) e di dilavamento a causa della rottura della tubazione idrica dell'acquedotto (autunno 2017/estate 2018), successivamente riparata.
Durata intervento:	1 giorno
Dimensioni intervento:	13,3 m di fondazione continua
Tecnologia:	Uretek Multipoint
Maglia iniezione	Interasse 1,0 m

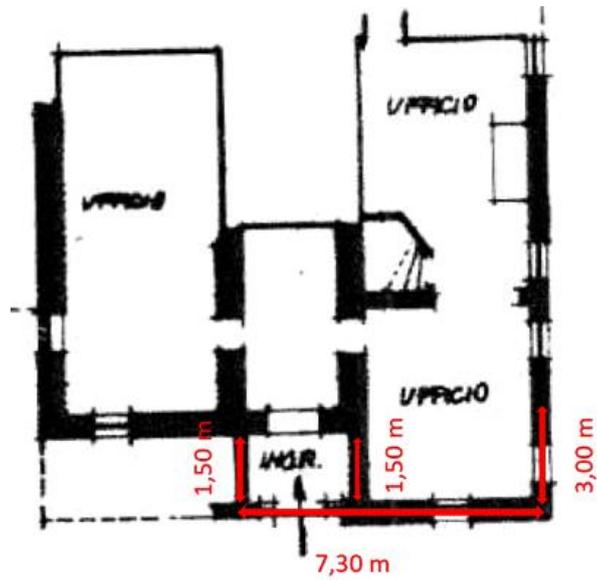


Figura 9 – Esempio di trattamento con URETEK MULTIPONT® : estensione indicativo dell'intervento.



Figura 10 – Esempio di trattamento con URETEK MULTIPONT® : FOTO degli esterni.



Figura 11 – Esempio di trattamento con URETEK MULTIPONT®: FOTO dell'interno (si notano le cannule di iniezione) e la rilevazione con sistema laser.

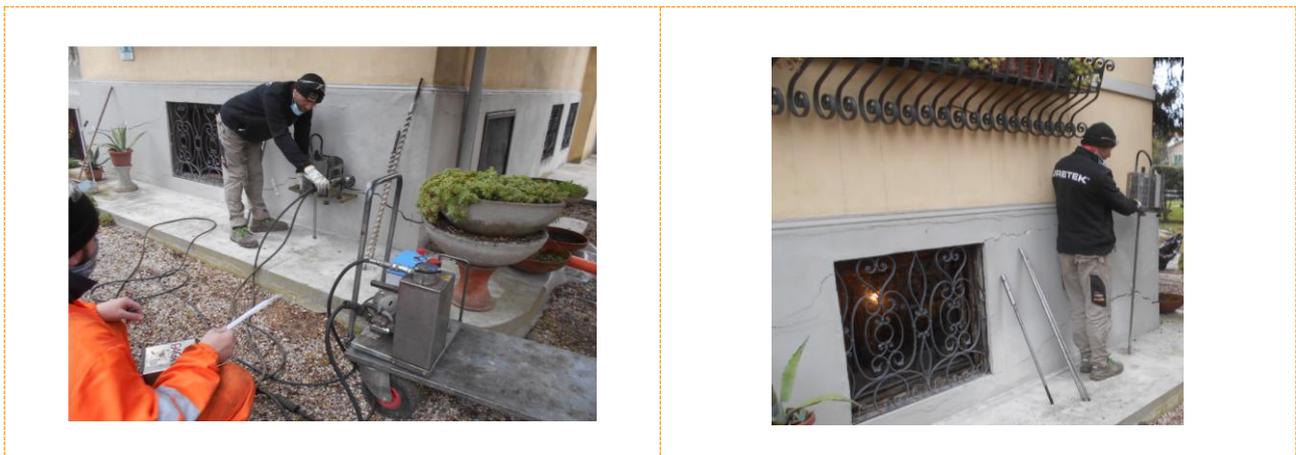


Figura 12 – Esempio di trattamento con URETEK MULTIPONT® : FOTO prove penetrometriche



Le iniezioni URETEK MULTIPOINT® sono state eseguite con interasse circa 1 metro lungo tutta la fondazione in cui si presentavano lesioni.

La profondità di iniezione è stata di 5 metri.

Particolarmente significativo è il grafico comparativo fra il numero di colpi N_{pre} prima dell'iniezione, dove si notano tratti con $N=0$ (che sta a significare una resistenza molto bassa del terreno, probabilmente torboso) e il numero di colpi N_{post} dopo l'iniezione.

E' interessante notare che in questo caso specifico l'incremento medio del numero di colpi riferito al solo strato coesivo è stato del +363% mentre quello relativo al solo strato granulare del 25%.

URETEK ITALIA spa				
Via Dosso del Duca, 16			Foglio: 1 su 2	
37021 Bosco Chiesanuova (VR)				
Cantiere:	Privato	Data cantiere:	23/12/2020	
Località:	Loreo (RO)	Contratto:		
Profondità [m]	PROVA 1 pre-iniezione		PROVA 2 post-iniezione	
	n° di colpi N_{10}	Resistenza Dinamica R_{sd} [kg/cm ²]	n° di colpi N_{10}	Resistenza Dinamica R_{sd} [kg/cm ²]
0,00 - 0,10	0,00	0,00	0,00	0,00
0,10 - 0,20	0,00	0,00	0,00	0,00
0,20 - 0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
0,30 - 0,40	0,00	0,00	0,00	0,00
0,40 - 0,50	0,00	0,00	0,00	0,00
0,50 - 0,60	0,00	0,00	0,00	0,00
0,60 - 0,70	0,00	0,00	0,00	0,00
0,70 - 0,80	0,00	0,00	0,00	0,00
0,80 - 0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
0,90 - 1,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1,00 - 1,10	0,00	0,00	0,00	0,00
1,10 - 1,20	0,00	0,00	0,00	0,00
1,20 - 1,30	0,00	0,00	0,00	0,00
1,30 - 1,40	0,00	0,00	0,00	0,00
1,40 - 1,50	0,00	0,00	0,00	0,00
1,50 - 1,60	0,00	0,00	0,00	0,00
1,60 - 1,70	0,00	0,00	0,00	0,00
1,70 - 1,80	0,00	0,00	0,00	0,00
1,80 - 1,90	0,00	0,00	0,00	0,00
1,90 - 2,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2,00 - 2,10	0,00	0,00	0,00	0,00
2,10 - 2,20	2	7,03	7	24,61
2,20 - 2,30	2	7,03	6	21,09
2,30 - 2,40	1	3,52	6	21,09
2,40 - 2,50	1	3,52	5	17,58
2,50 - 2,60	0	0,00	6	21,09
2,60 - 2,70	1	3,52	4	14,06
2,70 - 2,80	0	0,00	5	17,58
2,80 - 2,90	1	3,52	6	21,09
2,90 - 3,00	0	0,00	6	20,15
3,00 - 3,10	0	0,00	6	20,15
3,10 - 3,20	1	3,36	5	16,79
3,20 - 3,30	1	3,36	6	20,15
3,30 - 3,40	2	6,72	8	26,87
3,40 - 3,50	2	6,72	8	26,87
3,50 - 3,60	3	10,07	7	23,51
3,60 - 3,70	2	6,72	8	26,87
3,70 - 3,80	3	10,07	7	23,51
3,80 - 3,90	5	16,79	11	36,94
3,90 - 4,00	11	35,34	18	57,86
4,00 - 4,10	11	35,36	18	57,86
4,10 - 4,20	13	41,79	17	54,64
4,20 - 4,30	15	48,21	16	51,43
4,30 - 4,40	14	45,00	18	57,86
4,40 - 4,50	17	54,64	18	57,86
4,50 - 4,60	16	51,43	19	61,07
4,60 - 4,70	15	48,21	18	57,86
4,70 - 4,80	16	51,43	18	57,86
4,80 - 4,90	16	51,43	19	61,07
4,90 - 5,00	18	57,86	20	61,64
5,00 - 5,10	0,00	0,00	0,00	0,00
5,10 - 5,20	0,00	0,00	0,00	0,00
5,20 - 5,30	0,00	0,00	0,00	0,00
5,30 - 5,40	0,00	0,00	0,00	0,00
5,40 - 5,50	0,00	0,00	0,00	0,00
5,50 - 5,60	0,00	0,00	0,00	0,00
5,60 - 5,70	0,00	0,00	0,00	0,00
5,70 - 5,80	0,00	0,00	0,00	0,00
5,80 - 5,90	0,00	0,00	0,00	0,00
5,90 - 6,00	0,00	0,00	0,00	0,00

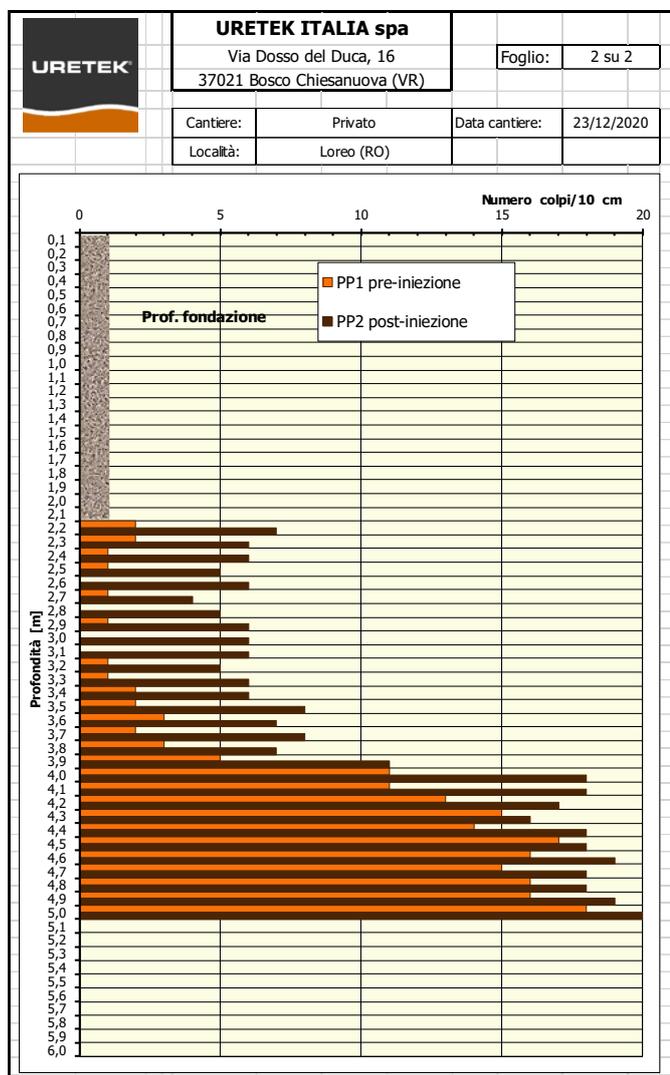


Figura 13 – Schemi prove penetrometriche dinamiche pre e post intervento.

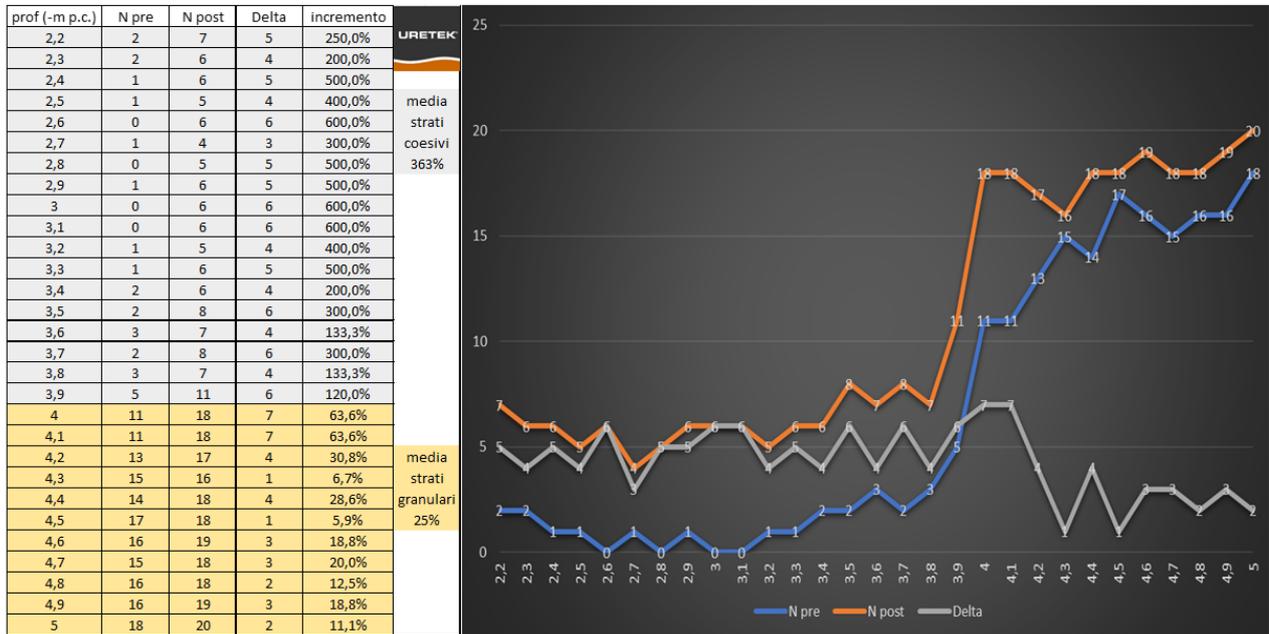


Figura 14 – Tabelle e grafici comparativi delle prove penetrometriche pre e post intervento.

Ing. Annalisa Trevisan

PER MAGGIORI INFORMAZIONI:

CONTATTA IL NOSTRO UFFICIO TECNICO

[CLICCA QUI](#)

APPROFONDISCI:

[CLICCA QUI](#)